

ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.

DE 9100555
SA 48923

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04/10/91

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-4750364	14-06-88	JP-A- 62093668	30-04-87
FR-A-2602055	29-01-88	DE-A- 3625411	04-02-88
		CH-A- 673897	12-04-90
		GB-A, B 2194341	02-03-88
WO-A-8905459	15-06-89	DE-A- 3741036	15-06-89
		EP-A- 0394305	31-10-90
		JP-T- 3501520	04-04-91
US-A-4836023	06-06-89	Keine	
EP-A-198724	22-10-86	FR-A- 2580389	17-10-86
		JP-A- 62123361	04-06-87
		US-A- 4711128	08-12-87
EP-A-309782	05-04-89	Keine	

EPO FORM P0073

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	ES	Spanien	ML	Mali
AU	Australien	FI	Finnland	MN	Mongolei
BB	Barbados	FR	Frankreich	MR	Mauritanien
BE	Belgien	GA	Gabon	MW	Malawi
BF	Burkina Faso	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BG	Bulgarien	GN	Guinea	NO	Norwegen
BJ	Benin	GR	Griechenland	PL	Polen
BR	Brasilien	HU	Ungarn	RO	Rumänien
CA	Kanada	IT	Italien	SD	Sudan
CF	Zentrale Afrikanische Republik	JP	Japan	SE	Schweden
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SN	Senegal
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SU+	Sowjet Union
CI	Côte d'Ivoire	LJ	Liechtenstein	TD	Tschad
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	TG	Togo
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DE	Deutschland	MC	Monaco		
DK	Dänemark	MG	Madagaskar		

+ Es ist noch nicht bekannt, für welche Staaten der früheren Sowjetunion eine Benennung der Sowjetunion gilt.

Mikromechanischer Drehratensensor

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Drehratensensor nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Es ist bereits bekannt, z. B. zur Messung der Drehgeschwindigkeit eines Fahrzeugs im wesentlichen um die Hochachse, zur Regelung der Fahrdynamik oder auch zu Navigationszwecken, geringe Drehraten von einer Umdrehung im Bereich von mehreren Grad pro Sekunde mit Sensoren zu erfassen, bei denen eine Stimmgabelstruktur, die parallel zur Drehachse orientiert ist, zu Schwingungen in einer Ebene angeregt wird. Bei einer Drehung um die Drehachse wirkt die Corioliskraft auf die schwingenden Stimmgabelzinken senkrecht zur Drehachse und senkrecht zur Antriebsrichtung, d. h. zur Auslenkung der Zinken bei Abwesenheit einer Drehbewegung. Die Drehrate kann über die von der Corioliskraft verursachte Auslenkung der Zinken senkrecht zur Antriebsrichtung erfaßt und ausgewertet werden.

In der US-PS 4 836 023 wird ein Drehratensensor mit Schwingern und mit Mitteln zur Aufhängung der Schwinger an einem Rahmen beschrieben, der nach dem eingangs erläuterten Prinzip arbeitet. Die

...

- 2 -

Schwinger sind quaderförmig ausgestaltet und mittels vier Aufhängungen am Rahmen befestigt. Die Schwinger, die Aufhängungen und der Rahmen sind aus einem einzigen Materialblock von gleichmäßiger Elastizität strukturiert. Sowohl die Schwingungsanregung der Schwinger als auch der Signalabgriff erfolgt piezoelektrisch. Die auf den Schwingern angeordneten piezoelektrischen Elemente sind über leitende Dünnschichten an außenliegende Schaltkreise angeschlossen. Außerdem weist der Sensor eine obere und eine untere Abdeckung auf.

In der DE-PS 34 17 858 wird vorgeschlagen, die Sensorstruktur aus piezoelektrischem Material, z. B. aus Quarz oder synthetischen Kristallen, zu fertigen. Außerdem werden Sensorsysteme mit mehreren Stimmgabelstrukturen beschrieben, bei denen im wesentlichen Stimmgabelstrukturen paarweise rechtwinklig oder parallel zu einem Schaft an diesem befestigt sind, der zwischen zwei festen Rahmenelementen angeordnet ist. Zudem wird vorgeschlagen, das Meßsignal kapazitiv zu erfassen.

Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße Sensor mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat den Vorteil, daß alle schwingungsfähigen Strukturelemente aus einkristallinem Silizium gefertigt sind. Die Zuverlässigkeit des Sensors wird dabei vorteilhaft durch die sehr guten mechanischen Eigenschaften von einkristallinem Silizium bestimmt. Ferner werden die elektrischen Eigenschaften des Siliziums vorteilhaft ausgenutzt, in dem die als mechanische Strukturelemente ausgebildeten Schwinger gleichzeitig als eine Elektrodenfläche eines Plattenkondensators dienen und/oder mit piezoelektrischen Elementen versehen sind und die Aufhängungsstege der Schwinger elektrische Zuleitungen für die Elektroden und/oder piezoelektrischen Elemente

...

- 3 -

bilden. Vorteilhaft ist auch, daß der Sensor in einem breiten Temperaturbereich einsetzbar ist, da die schwingungsfähigen Strukturen aus einem einheitlichen Material mit einheitlichem Temperaturverhalten gefertigt sind. Durch den Aufbau der Sensorstruktur aus einem monokristallinen Siliziumwafer, der nicht passiviert ist, werden mechanische Verspannungen, die nur schwer kompensiert werden können, ausgeschlossen und störende Anregungsschwingungen in Meßrichtung minimiert. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß sich auch die Auswerteschaltung für die Meßsignale auf dem Sensorsubstrat integrieren läßt. Der erfindungsgemäße Sensor läßt sich mit besonders kleinem Bauvolumen realisieren, und ist deshalb, beispielsweise für Anwendungen im Kraftfahrzeugbereich, besonders vorteilhaft. Er läßt sich zudem mit standardmäßig in der Mikromechanik verwendeten Verfahren, die eine kostengünstige Batchfertigung ermöglichen, herstellen.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Hauptanspruch angegebenen Sensors möglich. Um einen kapazitiven Abgriff des Meßsignals zu ermöglichen, muß gewährleistet sein, daß zwischen den als bewegliche Elektroden dienenden Schwingern und einer feststehenden Gegenelektrode auch in und nach Überlastsituationen ein Abstand besteht. Dies kann besonders vorteilhaft dadurch erreicht werden, daß entweder die Abdeckung, auf der die feststehende Elektrode aufgebracht ist, eine Kaverne im Bereich der Schwinger aufweist oder aber daß der Schwinger selbst und die Aufhängungsstege in ihrer Dicke reduziert sind, so daß sich ein Hohlraum zwischen der Abdeckung und der Sensorstruktur im Bereich der Schwinger befindet. Beim Auftreten einer Überlastsituation dient die Abdeckung als Auslenkungsbegrenzung für die Schwinger. Um ein "Ankleben" der Schwinger an der feststehenden Elektrode zu vermeiden, ist es besonders vorteilhaft, Abstandshalter

...

- 4 -

auf der feststehenden Elektrode und/oder auf dem Sensorelement aufzubringen. Besonders vorteilhaft ist es, das Sensorelement aus einem Siliziumwafer mit (110)-Kristallorientierung zu fertigen, da sich in diesen Wafern bei anisotropen Naßätzprozessen seitliche ätzbegrenzende Wände senkrecht zur Waferoberfläche ausbilden, die für die Sensorstruktur besonders vorteilhaft sind. Auch die Verwendung von mehrschichtigen Siliziumwafern, die zwischen den Schichten Dotierungsübergänge aufweisen, vereinfacht das Fertigungsverfahren. Besonders vorteilhaft sind pn-Übergänge, da sie die Möglichkeit bieten, einzelne Teile der Sensorstruktur elektrisch voneinander zu isolieren. Bei der Verwendung von dreischichtigen Siliziumwafern lassen sich Schwinger realisieren, die vergrößerte seismische Massen aufweisen, wodurch der Meßeffect vorteilhaft vergrößert wird. Zur Vermeidung von Störsignalen ist es besonders vorteilhaft, bei der Anordnung der Aufhängungsstege bezüglich der Schwinger auf eine symmetrische Massenverteilung zu achten, da das Meßsignal im Verhältnis zu anderen Störsignalen schwach ist und leicht durch diese Störsignale überdeckt werden kann.

Die Schwingungsanregung erfolgt besonders vorteilhaft elektromagnetisch oder thermomechanisch, da hierfür keine Maßnahmen notwendig sind, die die mechanischen Eigenschaften der Schwinger beeinflussen, wie z. B. das Aufbringen von weiteren Schichten. Eine besonders einfache Möglichkeit der elektromagnetischen Anregung eines parallel ausgerichteten Schwingerpaares besteht darin, die beiden Schwinger durch geeignete Maßnahmen elektrisch hintereinander zu schalten, so daß sie gegenläufig von Strom durchflossen werden, und senkrecht zur Stromrichtung ein Magnetfeld anzulegen. Eine besonders einfache Möglichkeit der thermomechanischen Anregung besteht darin, an die Aufhängungsstege Stromimpulse anzulegen, die eine Längenänderung der Stege bewirken. Um die Auslenkungsrichtung der Schwinger bei thermomechanischer Anregung festzulegen, werden

...

- 5 -

die Aufhängungsstege vorteilhaft unter einem geringen Fehlwinkel parallel zueinander und senkrecht zur Detektionsrichtung orientiert. Vorteilhaft lassen sich die Schwinger auch elektrostatisch anregen, indem zwischen den Schwingern oder den Aufhängungsstegen und entsprechenden Gegenelektroden im Rahmen ein elektrisches Feld angelegt wird. Ferner können die Schwinger auch vorteilhaft durch einen Reluktanzantrieb betrieben werden, indem beispielsweise die Aufhängungsstege der Schwinger kammförmige Strukturen aufweisen, die in kammförmige Strukturen von festen Gegenelektrode hineinragen, wobei zwischen den ineinandergreifenden kammförmigen Strukturen ein elektrisches Feld angelegt wird. Vorteilhaft ist auch, daß sich unter Verwendung einer oberen und einer unteren Abdeckung des Sensorelements, die beide mit feststehenden Elektroden versehen sind, einfach Differentialanordnungen zum kapazitiven Signalabgriff realisieren lassen. Zur Erhöhung des Meßeffektes oder auch zur Trennung der Schwingungsanregung und des Signalabgriffes ist es vorteilhaft, Strukturen mit doppelter oder vierfacher Stimmgabelstruktur zu verwenden. Dies kann beispielsweise vorteilhaft mittels eines gitterförmigen Rahmens, von dessen Streben zweiseitig paarweise Schwinger ausgehen, die zusammen mit der Strebe mehrfach Stimmgabelstrukturen bilden, realisiert werden.

In den Unteransprüchen werden ferner vorteilhafte Verfahren zur Herstellung von erfindungsgemäßen Drehratensensoren beschrieben. Dabei werden ausschließlich in der Mikromechanik übliche Prozeßschritte durchgeführt. Besonders vorteilhaft ist in diesem Zusammenhang, die unterschiedlichen Möglichkeiten für Dotierungsübergänge nicht nur im Zuge des Verfahrens zu berücksichtigen, sondern auch um definierte elektrische Verhältnisse zu schaffen, so daß beispielsweise in mehreren Schichten ausgebildete Schwinger eine bezüglich der Ladungsträgerart einheitliche Dotierung aufweisen.

...

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Figur 1 die Aufsicht auf ein Sensorelement, Figur 2 den Schnitt durch dieses Sensorelement entlang der II-II-Achse, Figur 3 den Schnitt durch dieses Sensorelement entlang der III-III-Achse, Figur 4 die Aufsicht auf ein weiteres Sensorelement, Figur 5 den Schnitt durch einen Sensor, Figur 6 den Schnitt durch einen weiteren Sensor, Figur 7 das Schema des thermomechanischen Antriebs, Figur 8 die Aufsicht auf ein Sensorelement mit thermomechanischem Antrieb, Figur 9 und 10 Schwinger mit elektrostatischem Antrieb, Figur 11 die Aufsicht auf ein Sensorelement mit elektrostatischem Antrieb, Figur 12 den Schnitt durch dieses Sensorelement entlang der XII-XII-Achse, Figur 13 die Aufsicht auf einen Schwinger mit Reluktanzantrieb, Figur 14 eine Mehrfachstimmgabelstruktur, die Figuren 15a bis f ein Verfahren zur Herstellung eines Sensorelements aus einem zweischichtigen Siliziumwafer, Figuren 16a bis f ein Verfahren zur Herstellung eines Sensorelements aus einem dreischichtigen Siliziumwafer und die Figuren 17a bis g ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines Sensorelements aus einem dreischichtigen Wafer.

Beschreibung der Erfindung

In Figur 1 ist die Topographie eines Sensorelements 1 dargestellt. Es weist einen Rahmen 10 auf und zwei Schwinger 21, 22, die über Stege 41 bis 44 zweiseitig mit dem Rahmen verbunden sind. Die Schwinger 21, 22 haben bezüglich ihrer Aufhängung eine symmetrische Massenverteilung. Außerdem sind die Schwinger 21, 22 parallel zueinander aufgehängt. Im Rahmen 10 befinden sich an den Seiten, an denen die Aufhängungsstege 41 - 44 mit dem Rahmen 10 verbunden sind, Ätzgräben 11. In den Ätzgräben 11 sind elektrische Anschlüsse 31, 32 und 33

...

- 7 -

für die Aufhängungen angeordnet. Figur 2 zeigt einen Schnitt durch die II-II-Achse des in Figur 1 dargestellten Sensorelements 1. Es ist aus einem zweischichtigen Siliziumwafer aufgebaut, besteht allerdings nur noch in Bereichen des Rahmens 10 aus einem Substrat 3 und einer darauf aufgebracht weiteren Schicht 2. Zwischen der weiteren Schicht 2, die meist durch einen Epitaxieprozeß erzeugt ist, aber auch durch Diffusion von Fremdatomen in das Substrat 3 erzeugt werden kann, und dem Substrat 3 besteht ein Dotierungsübergang, in diesem Beispiel ein pn-Übergang. Dabei kann es sich aber auch um einen Übergang zwischen einer p^+ -dotierten Schicht und einem n-dotierten Substrat handeln. Im Bereich der Stege 41, 42 und des Schwingers 21 befindet sich eine Rückseitenätzung 85, so daß die Stege 41, 42 und der Schwinger 21 ausschließlich in der weiteren Schicht 2 ausgebildet sind. Der Ätzgraben 11 im Rahmen 10 durchdringt die weitere Schicht 2 vollständig, so daß die Stege 41, 42 und der Schwinger 21 vom Rest des Sensorelements 1 elektrisch isoliert sind. In den Ätzgräben 11 befinden sich elektrische Anschlüsse 31 und 32 für den Schwinger 21, wobei die leitende Verbindung zwischen den Anschlüssen 31, 32 und dem Schwinger durch die Aufhängungsstege 41, 42 hergestellt ist. Die Anschlüsse 31, 32 und 33 sind mit dem Substrat mechanisch verbunden, jedoch durch den pn-Übergang zwischen dem Substrat 3 und der weiteren Schicht 2 und dem Graben 11 elektrisch voneinander isoliert. Auf diese Weise kann auf Passivierschichten und Leiterbahnen vollständig verzichtet werden, so daß dadurch auftretende mechanische Verspannungen der beweglichen Strukturen vermieden werden. Die Aufhängungsstege 41, 42 und der Schwinger 21 sind von der Waferoberseite ausgehend in ihrer Dicke reduziert, d. h., sie sind ausschließlich in der weiteren Schicht 2 ausgebildet, haben aber nicht die gesamte Dicke der weiteren Schicht 2. Diese Maßnahme soll eine Schwingungsfähigkeit der Schwinger 21, 22 auch bei Anwesenheit einer oberen Abdeckung 4, wie sie in Figur 3 dargestellt ist, gewährleisten. Dies kann

...

allerdings auch dadurch erreicht werden, daß in die obere Abdeckung 4 eine Kaverne im Bereich der Stege 41 bis 44 und der Schwinger 21, 22 eingebracht wird. Gegenüber den als eine Seite eines Plattenkondensators dienenden Schwingern 21, 22 ist auf der Abdeckung 4 eine feststehende Elektrode 23 aufgebracht, so daß sich Auslenkungen der Schwinger 21, 22 in dieser Richtung als Kapazitätsänderungen erfassen lassen. Die feststehende Elektrode 23 kann in Form einer Metallisierung auf der Abdeckung 4 realisiert sein. Diese Anordnung der Elektroden 21 bis 23 stellt eine Differentialanordnung dar, wenn man berücksichtigt, daß die Elektroden 21, 22 bei einer Drehbewegung in entgegengesetzten Richtungen ausgelenkt werden. Die Verbindung zwischen dem mikromechanisch strukturierten Wafer und den Abdeckungen 4, für die vorzugsweise Glasträger verwendet werden, kann beispielsweise durch anodisches Bonden erfolgen. Die elektrischen Anschlüsse der feststehenden Elektrode 23 und der Anschlüsse 31 bis 33 sind geeignet nach außen zu führen. Die in den Figuren 1 bis 3 dargestellte Ausführungsform besitzt Schwinger 21, 22, die an jeweils zwei dünnen Stegen 41 bis 44 wie eine doppelseitig eingespannte Stimmgabel aufgehängt sind. In Erweiterung dieser Struktur ist in Figur 4 eine Ausführungsform dargestellt, bei der jeder Schwinger 21, 22 an insgesamt vier Stegen aufgehängt ist. Dies hat den Vorteil, daß die Schwinger 21 und 22 wesentlich besser gehalten sind und sich bei einer Schwingungsanregung in X-Richtung nicht eigenständig um ihre Aufhängungsachse verdrehen können. Die Anregung der in den Figuren 1 bis 4 dargestellten Sensorstrukturen kann elektromagnetisch erfolgen. Ein vom Anschluß 31 über den Schwinger 21 zum Anschluß 32 und über den Schwinger 22 zum Anschluß 33 in Y-Richtung fließender Strom erzeugt in einem externen in Z-Richtung orientierten Magnetfeld eine Lorenzkraft, die zu gegensinniger Auslenkung der Elektroden 21 und 22 in X-Richtung führt.

...

- 9 -

Die in den Figuren 1 bis 4 dargestellten Sensorelemente weisen bewegliche Strukturen auf, die lediglich eine Dicke von wenigen Mikrometern entsprechend der weiteren Schicht 2 besitzen. Dadurch steht auch nur eine geringe Masse zur Verfügung, die durch die Corioliskraft in Z-Richtung beschleunigt werden kann. Die in den Figuren 5 und 6 dargestellten Ausführungsformen beinhalten Sensorelemente, die aus dreischichtigen Siliziumwafern 10 strukturiert sind. Der Siliziumwafer 10 besteht in diesem Fall aus einem Substrat 3 auf das beidseitig weitere Schichten 2a, 2b aufgebracht sind. Zwischen dem Substrat 3 und den beiden weiteren Schichten 2a, 2b bestehen Dotierungsübergänge. Die Schwinger 21, 22 sind jetzt in voller Waferdicke ausgebildet, wobei das Substrat 3 im Bereich der Schwinger 21, 22 als seismische Masse 13 dient. Da die Schwinger 21, 22 möglichst symmetrisch aufgehängt werden sollen, sind die Aufhängungsstege 41 bis 48 in beiden weiteren Schichten 2a und 2b ausgebildet. In den in den Figuren 5 und 6 dargestellten Ausführungsbeispielen sind die Wafer 10 im Bereich der Stege 41 bis 48 und der Schwinger 21, 22 von beiden Waferoberflächen ausgehend in ihrer Dicke reduziert. Auf das Sensorelement sind beidseitig Abdeckungen 401 und 402 aufgebracht. Im Bereich der Stege 41 bis 48 und der Schwinger 21, 22 befinden sich Hohlräume 12, die die Beweglichkeit der Schwinger gewährleisten. Im Bereich der Schwinger 21, 22 sind Elektroden 23, 24 auf die Abdeckungen 401, 402 aufgebracht. Bei großen Auslenkungen der Schwinger 21, 22 in Richtung der Abdeckungen 401, 402 ist es möglich, daß die Schwinger 21, 22 mit den entsprechenden feststehenden Elektroden 23, 24 in Berührung kommen. Um ein Festkleben der Schwinger 21, 22 an einer der Elektroden 23 oder 24 zu verhindern, sind auf der den Elektroden 23, 24 zugewandten Oberflächen der Schwinger 21, 22 Abstandshalter 14 in Form von Erhebungen strukturiert, die nur eine Annäherung der Schwinger 21, 22 an die Elektroden 23, 24 bis zu einem gewissen Abstand ermöglichen. Genauso denkbar wäre es aber, Abstandshalter

...

- 10 -

auf den Abdeckungen 401, 402 anzuordnen. Die Stege 41 bis 48, die nur in den weiteren Schichten 2a, 2b ausgebildet sind, sind durch Unterätzungen 86 freigelegt, so daß das Substrat im Bereich der Stege 41 bis 48 weitgehend vollständig weggeätzt ist. Figur 6 zeigt denselben Sensoraufbau wie Figur 5, nur daß hier das Sensorelement aus einem Wafer 10 strukturiert wurde, der zwar in drei Schichten aufgebaut ist, aber nur pn-Übergänge im Bereich der Stege 41 bis 48 aufweist. Dieses Detail hat hauptsächlich im Zusammenhang mit der Herstellung des Sensorelementes Bedeutung. Es wird bei der Beschreibung der Figuren 17a bis g näher erläutert. Die Topographie der in Figur 5 und 6 im Querschnitt dargestellten Sensorelemente kann wahlweise der in Figur 1 oder der in Figur 4 dargestellten entsprechen.

Die Anregung der in den Figuren 1 bis 7 dargestellten Strukturen kann nicht nur elektromagnetisch sondern auch thermomechanisch erfolgen. Der durch die Stege 41 bis 48 fließende Strom heizt diese auf und verursacht dadurch eine Längenausdehnung 1 der Stege 41 bis 48. Dies ist schematisch für einen Schwinger 21 in Figur 7 dargestellt. Bei geeigneter Dimensionierung der Stege 41 bis 48 und entsprechend resonanter Anregung mit Stromimpulsen können die Schwinger 21, 22 in eine bevorzugte Richtung ausgelenkt werden. So ist es vorteilhaft, die dünnen Aufhängungsstege 41 bis 48 nicht senkrecht zur Anregungsrichtung, sondern unter einem geringen Fehlwinkel zu orientieren. Dadurch wird die Richtung der thermomechanisch erzeugten Auslenkung wesentlich besser definiert. In Figur 8 ist eine der in Figur 1 dargestellten Topographie entsprechende Topographie für ein thermomechanisch anregbares Sensorelement 1 dargestellt. Die Schwinger 21 und 22 sind jeweils mit zwei Stegen 41, 42 und 43, 44 mit dem Rahmen 10 verbunden. Jedoch sind die Stege 41, 42 und 43, 44 nicht exakt senkrecht zur Anregungsrichtung, sondern unter einem geringen Fehlwinkel orientiert, so daß sie bei einer Längenänderung der Stege 41 bis 44 durch Erwärmung bevorzugt gegensinnig in X-Richtung schwingen.

...

- 11 -

Eine weitere Anregungsvariante ist der elektrostatische Antrieb. Hierbei wird entsprechend der in den Figuren 9 und 10 dargestellten Strukturen den Schwingern 21, 22 feststehende Gegenelektroden 25 in Anregungsrichtung gegenübergestellt. Um eine elektrostatische Anregung möglichst effektiv zu gestalten, muß der Abstand zwischen den als schwingungsfähige Elektroden dienenden Schwingern 21, 22 und den feststehenden Gegenelektroden 25 möglichst gering sein, und die Elektrodenwände müssen parallel zueinander orientiert sein. Deshalb werden derartige Strukturen vorzugsweise aus (110)-orientiertem Silizium strukturiert. Außerdem muß die Elektrodenoberfläche möglichst groß sein, so daß Schwingerstrukturen bevorzugt verwendet werden, die in der gesamten Dicke des Wafers ausgebildet sind. Die Aufhängung kann zweiseitig an vier bzw. acht Stegen 41 - 48 erfolgen (Figur 9); es ist aber auch möglich, die Schwinger einseitig an zwei oder vier Stegen 41, 43, 45, 47 aufzuhängen (Figur 10). Strukturen mit einseitig aufgehängten Schwingern sind sehr flexibel und weisen eine hohe Empfindlichkeit auf. Eine weitere Möglichkeit einer Sensorstruktur mit elektrostatischem Antrieb und einseitiger Aufhängung der Schwinger 21, 22 ist in den Figuren 11 und 12 dargestellt. Sie wird vorzugsweise in zweischichtigen Wafers realisiert. Das Sensorelement weist ein Paar von paddelförmigen Schwingern 21, 22 auf. Die Schwinger 21 und 22 sind über jeweils einen Aufhängungsstege 41 und 44 mit dem Rahmen 10 verbunden, so daß sie in Verbindung mit den Aufhängungsstegen 41, 44 einer Stimmgabelstruktur bilden. Die Stege 41 und 44 sind in voller Waferdicke ausgebildet und dienen jeweils als eine Elektrodenfläche eines Anregungskondensators. Gegenüber den Stegen 41, 44 sind feststehende Gegenelektroden 25 als zweite Elektrodenfläche der Anregungskondensatoren angeordnet. Die Schwinger 21 und 22 sind paddelförmig nur in der weiteren Schicht 2 ausgebildet, um eine Beweglichkeit senkrecht zur Anregungsrichtung zu ermöglichen.

...

- 12 -

Der elektrostatische Antrieb läßt sich nicht besonders vorteilhaft auf Sensorelemente anwenden, bei denen die Schwinger 21, 22 und die Aufhängungsstege 41 bis 48 ausschließlich in der weiteren Schicht 2 ausgebildet sind, da hier die Fläche der Anregungselektroden entsprechend der geringen Dicke der weiteren Schicht 2 nur sehr gering ist. Diese Strukturen lassen sich allerdings mit Hilfe des Reluktanzantriebs elektrostatisch bewegen. In Figur 13 ist eine feststehende Gegenelektrode 25 dargestellt, die eine kammförmige Struktur mit Fingern 52 in Anregungsrichtung aufweist. Ihr gegenüber ist ein Aufhängungssteg 41, der ebenfalls eine kammförmige Struktur in Anregungsrichtung aufweist angeordnet und zwar so, daß die Finger 51, die von dem Steg 41 ausgehen, in die kammförmige Struktur der feststehenden Elektrode 25 hineingreifen. Bei Anlegen eines elektrischen Feldes an die kammförmigen Elektroden 51, 52 wird der Steg 41 in Anregungsrichtung gezogen und bewegt den daran befestigten Schwinger 21 in diese Richtung.

In Figur 14 ist eine Mehrfachstimmgabelstruktur dargestellt. Der Rahmen 10 besteht aus mehreren Streben 101 bis 103 und kann z. B. gitterförmig ausgestaltet sein. Von einer Strebe 102 des Rahmens 10 gehen zweiseitig, paarweise Schwinger 211, 221 und 212, 222 aus und bilden zusammen mit der Strebe 102 eine Mehrfachstimmgabelstruktur. Die Schwinger 211, 212, 221, 222 können einseitig mit der Strebe 102 verbunden sein oder zweiseitig mit weiteren Streben 101, 103. Mehrfachstimmgabelstrukturen haben den Vorteil, daß an einem Schwingerpaar 211, 221 Schwingungen durch verschiedene Antriebsmechanismen angeregt werden können, die sich über die Strebe 102 auf das gegenüberliegende Schwingerpaar 212, 222 übertragen, an dem dann der Signalabgriff erfolgen kann.

...

- 13 -

Im folgenden werden Verfahren zur Herstellung der in den Figuren 1 bis 14 dargestellten Sensorstrukturen erläutert. In den Figuren 15a bis f ist der Verfahrensablauf zur Strukturierung eines Sensorelements aus einem zweischichtigen Wafer dargestellt. Ein Siliziumwafer 10 besteht aus einem Substrat 3 und einer weiteren Schicht 2, wobei zwischen dem Substrat 3 und der weiteren Schicht 2 ein Dotierungsübergang besteht. Dies kann, wie in diesem Beispiel, ein pn-Übergang sein oder auch ein pp^+ - oder np^+ -Übergang. Der Wafer 10 wird zunächst beidseitig mit Passivierschichten 70, 71 versehen. Die auf die weitere Schicht 2 aufgebrachte Passivierschicht 70 wird strukturiert, d. h. mit Ausnehmungen 80 in den Bereichen versehen, in denen die Schwinger 21, 22 und die Stege 41 bis 48 in ihrer Dicke reduziert werden sollen. Die Maskierschicht verbleibt jedoch an den Stellen der Schwinger, an denen Abstandshalter 14 strukturiert werden sollen, was in Figur 15a dargestellt ist. Figur 15b zeigt den Wafer 10 nachdem in die Ausnehmungen 80 der Passivierschicht 70 eingeeätzt wurde und nach einem zweiten Photoprozeß die Abstandshalter 14 auf eine definierte Höhe geätzt wurden. Nach diesem Verfahrensschritt werden die Passivierschichten 70 und 71 der Vorder- und Rückseite des Wafers 10 entfernt. Vor dem nächsten Prozeßschritt erfolgt eine erneute Passivierung der Rückseite und eine Passivierung der strukturierten Vorderseite des Wafers 10. Die Passivierschicht der Vorderseite 701 wird mit Ausnehmungen 81 an den Stellen versehen, an denen die Schwinger 21, 22 in der weiteren Schicht 2 freigelegt werden sollen. Außerdem werden Ausnehmungen 82 in der Passivierschicht 701 erzeugt, die beispielsweise zum Einbringen von elektrischen Anschlüssen an die weitere Schicht 2 dienen. Auch die Passivierschicht der Rückseite 711 wird mit Ausnehmungen 83 versehen, und zwar in den Bereichen, in denen das Substrat 3 durch Rückseitenätzung entfernt wird, um die Stege 41, 48 und die Schwinger 21, 22 freizulegen, was in Figur 15c dargestellt ist. Da für die Rückseitenätzung, die vorzugsweise naßchemisch anisotrop erfolgt, relativ

...

- 14 -

lange Ätzzeiten erforderlich sind, muß die Rückseite des Wafers 10 mit einer besonders widerstandsfähigen Passivierschicht 711 versehen sein, die sich beispielsweise aus einem abgeschiedenen Oxid und einem darauf abgeschiedenen Nitrid zusammensetzen kann. Figur 15d zeigt den Wafer 10 nach Durchführung der Rückseitenätzung, bei der sich eine Rückseitenausnehmung 85 gebildet hat. Zur Passivierung der weiteren Schicht 2 gegen die Rückseitenätzung wurde an die weitere Schicht 2 über einen Ätzstopanschluß 74 eine Gegenspannung angelegt. Für jeden Wafer ist pro p/n-Übergang nur ein Ätzstopanschluß erforderlich, unabhängig davon wie viele Sensorelemente aus ihm strukturiert werden. Nach der Rückseitenätzung wird die strukturierte Passivierschicht 711 der Rückseite entfernt und auf die strukturierte Rückseite erneut eine Passivierschicht 712 aufgebracht. Nach Entfernen des Ätzstopanschlusses 74 wird die weitere Schicht 2 von der Vorderseite des Wafers 10 ausgehend geätzt. Der Wafer 10 ist in Figur 15e dargestellt, nachdem die Ausnehmungen 81 und 82 der Passivierschicht 711 in die weitere Schicht 2 übertragen worden sind. In Figur 15f ist das fertiggestellte Sensorelement nach Entfernen der Passivierschichten 701 und 712 und nach Kapselung mit einer oberen Abdeckung 401 und einer unteren Abdeckung 402 dargestellt. Die Sensorstruktur weist einen Schwinger 21 auf, der mit einem Aufhängungssteg 41 mit dem Rahmen verbunden ist, wobei Schwinger 21 und Aufhängungssteg 41 in ihrer Dicke reduziert sind und ausschließlich in der weiteren Schicht 2 ausgebildet sind. Zudem weist der Schwinger 21 zwei Abstandshalter 14 auf, die ein Ankleben des Schwingers 21 an die ihm gegenüber auf der Abdeckung 401 angeordneten feststehenden Elektrode 23 verhindern sollen. Die Abdeckungen 401 und 402 bestehen vorzugsweise aus Glas und werden dann vorteilhaft mittels anodischem Bonden mit dem Sensorelement verbunden. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß bei dem hier beschriebenen Verfahren die Abstandshalter 14, die eine Funktionsfähigkeit des Sensors auch nach einer Überlastsituation gewährleisten, aus dem Sensorelement strukturiert werden. Es ist auch möglich, die Schwinger 21, 22 und die Stege 41

...

- 15 -

bis 48 in der vollen Dicke der weiteren Schicht 2 auszubilden und in der oberen Abdeckung 401 eine Kaverne vorzusehen, die im Bereich der Schwinger 21, 22 eine feststehende Elektrode aufweist und außerdem mit Abstandshaltern 14 im Bereich der Schwinger 21, 22 versehen ist.

In den Figuren 16a bis e wird ein analoges Verfahren für dreischichtige Wafer 10 beschrieben. Auf ein Substrat 3 sind auf der Vorder- und auf der Rückseite weitere Schichten 2a, 2b abgeschieden. Zwischen den weiteren Schichten 2a und 2b und dem Substrat 3 bestehen Dotierungsübergänge, in diesem Beispiel wieder pn-Übergänge. In den Figuren 16a bis c ist eine den Figuren 15a bis c entsprechende Verfahrensweise für die Oberflächen der weiteren Schichten 2a und 2b dargestellt. Jedoch werden dann zum Freilegen der Schwinger zunächst die Ausnehmungen 81a und 81b in den Passivierschichten 701a und 701b der weiteren Schichten 2a und 2b in die weiteren Schichten 2a und 2b übertragen, wobei die weiteren Schichten 2a und 2b vollständig durchgeätzt werden. Dies erfolgt auch in den Bereichen um die Stege. In der Figur 16d ist der Wafer 10 dargestellt, nachdem die weiteren Schichten 2a und 2b durchgeätzt sind. In einem weiteren Prozeßschritt wird auch an den Stellen, an denen der Wafer vollständig durchgeätzt werden soll, das Substrat zweiseitig ausgehend von den Ausnehmungen 81a, 81b in den weiteren Schichten 2a und 2b eingeätzt bis sich die beiden Ausnehmungen 81a, 81b zu einer Ausnehmung 81 vereinen. Das Freilegen der Stege 41 bis 48 in den weiteren Schichten 2a und 2b erfolgt durch Unterätzung der Stege ausgehend von Öffnungen in den weiteren Schichten 2a und 2b. Dabei werden die Stege durch Anlegen einer Spannung in Sperrrichtung an die pn-Übergänge zwischen den weiteren Schichten 2a und 2b und dem Substrat 3 über die Ätzstopanschlüsse 74a und 74b passiviert. In Figur 16f ist das Sensorelement dargestellt nach Entfernen der Passivierschichten 701a und 701b sowie der Ätzstopanschlüsse 74a und 74b und nach Aufbringen einer oberen Abdeckung 401 und einer unteren

...

- 16 -

Abdeckung 402, die jeweils im Bereich des Schwingers 21 eine Gegenelektrode 23, 24 aufweisen. Mittels dieses Ätzverfahrens lassen sich Sensorelemente mit durch eine seismische Masse 13 beschwerten Schwingern 21 herstellen, die nahezu die gesamte Waferdicke haben.

In den Figuren 17a bis g ist ebenfalls ein Verfahren dargestellt, mit dem man Sensorelemente aus dreischichtigen Siliziumwafern fertigen kann. Es entspricht im wesentlichen dem in den Figuren 16a bis f dargestellten Verfahren, allerdings wird in den Figuren 17a bis c ein spezieller Schichtaufbau des Wafers beschrieben. Das Verfahren geht zunächst von einem p-dotierten Substrat 3 aus, das auf seinen Oberflächen mit Lackmasken 72a und 72b versehen wird. Die strukturierten Maskierschichten 72a und 72b verhindern ein Eindringen einer p^+ -Diffusion in die Substratoberflächen an den Stellen, an denen die Aufhängungsstege 41 bis 48 ausgebildet werden sollen und so, daß diese Stellen elektrisch anschließbar sind. Nach dem Einbringen einer p^+ -Dotierung in die maskierten Oberflächen des Substrats 3 und nach Entfernen der Maskierschichten 72a und 72b werden jeweils auf der Oberseite und auf der Rückseite des Substrats 3 n-Epitaxieschichten 2a, 2b abgeschieden. Auf die so präparierten Oberflächen wird mit Ausnahme von einer Anschlußstelle auf der Vorder- und auf der Rückseite, die mit einer Passivierschicht 70a, 70b versehen wird auf beide Oberflächen ein borhaltiges Glas 73a, 73b aufgebracht. Anstelle des borhaltigen Glases können aber auch andere geeignete Materialien, die positive Ionen enthalten, verwendet werden. In einem weiteren Prozeßschritt werden sowohl die p^+ -Dotierungen 5a und 5b als auch die positiven Ionen des borhaltigen Glases 73a und 73b beidseitig in die Epitaxieschichten 2a und 2b eingetrieben. Dies ist in Figur 17b dargestellt. Dadurch entsteht ein dreischichtiger Wafer, der aus einem p-dotierten Substrat 3 und zwei weiteren Schichten 5a und 5b besteht, die mit Ausnahme von vergrabenen n-Gebieten 6a, 6b an den Stellen, an denen

...

- 17 -

die Stege ausgebildet werden sollen und mit n-Gebieten an den Ätzstopanschlußstellen 75a, 75b p-dotiert sind, was in Figur 17c dargestellt ist. Diese vergrabenen n-Gebiete lassen sich sehr wirkungsvoll als Ätzstopgrenzen bei der Unterätzung und Freilegung der Stege 41 bis 48 ausnutzen, was in Figur 17f dargestellt ist. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß Schwinger hergestellt werden können, die durchgängig mit gleichartigen Ladungsträgern dotiert sind, so daß bei den als Elektroden dienenden Schwingern definierte elektrische Verhältnisse vorliegen.

Ansprüche

1. Drehratensensor mit einem Sensorelement, das einen festen Rahmen aufweist, mindestens einen Schwinger, vorzugsweise mindestens ein Paar von Schwingern, die mindestens in zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen schwingungsfähig sind, und das mit Mitteln zur Aufhängung der Schwinger an dem Rahmen ausgestattet ist, wobei der Rahmen, die Schwinger und die Mittel zur Aufhängung der Schwinger aus einem Materialblock strukturiert sind, mit Mitteln zur Anregung der Schwinger in einer ersten Schwingungsrichtung, mit Mitteln zur kapazitiven oder piezoresistiven Erfassung von Auslenkungen der Schwinger in der zweiten Schwingungsrichtung, die senkrecht auf der ersten Schwingungsrichtung steht und mit mindestens einer Abdeckung, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement aus einem monokristallinen Siliziumwafer herausstrukturiert ist, daß der mindestens eine Schwinger (21, 22) an einem oder mehreren Stegen (41 - 48) mit dem Rahmen (10) verbunden ist, daß der mindestens eine Schwinger (21, 22) eine Elektrodenfläche eines Plattenkondensators bildet, daß die Stege (41 - 48) elektrische Zuleitungen zur Anregung und Signalführung bzw. -abführung für den mindestens einen Schwinger (21, 22) bilden, daß dem mindestens einen Schwinger (21, 22) gegenüber auf der mindestens einen Abdeckung (401, 402) in der zweiten Schwingungsrichtung mindestens eine feststehende Elektrode (23, 24) als weitere Elektrode des Plattenkondensators angeordnet ist.

...

- 19 -

2. Drehratensensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Hohlraum zwischen der Abdeckung und dem Sensorelement (1) durch eine Kaverne in der Abdeckung (401, 402) erzeugt ist.
3. Drehratensensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Hohlraum zwischen der Abdeckung und dem Sensorelement (1) durch eine Reduzierung der Dicke des Sensorelementes (1) mindestens im Bereich der Schwinger (21, 22) und der Aufhängungsstege (41 - 48) erzeugt ist.
4. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf der mindestens eine feststehenden Elektrode (23, 24) und/oder auf der Elektrode des Sensorelementes (1) mindestens ein Abstandshalter aufgebracht ist.
5. Drehratensensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwinger (21, 22) an der der mindestens einen feststehenden Elektrode (23, 24) zugewandten Oberfläche Abstandshalter (14) in Form von Erhebungen aufweisen, die nur eine Annäherung der Schwinger (21, 22) an die mindestens eine feststehende Elektrode (23, 24) bis zu einem Abstand entsprechend der Höhe der Abstandshalter (14) ermöglichen.
6. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement (1) aus einem Siliziumwafer mit (110)-Kristallorientierung strukturiert ist.
7. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement (1) aus einem Siliziumwafer strukturiert ist, der in zwei Schichten aus einem Substrat (3) und einer darauf aufgetragenen Ätzstoppschicht (2) aufgebaut ist, und daß zwischen der Ätzstoppschicht (2) und dem Substrat (3) ein Dotierungsübergang besteht.

...

- 20 -

8. Drehratensensor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Stege (41 - 44) und die Schwinger (21, 22) in der Ätzstoppschicht (2) ausgebildet sind.

9. Drehratensensor nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß elektrische Anschlüsse (31 - 33) für die Schwinger (21, 22) in die Ätzstoppschicht (2) des Rahmens (10) eingebracht sind, so daß sie eine mechanische Verbindung mit dem Substrat (3) bilden, und daß die Anschlüsse (31 - 33) der Schwinger (21, 22) durch einen p/n-Übergang zwischen dem Substrat (3) und der Ätzstoppschicht (2) und durch Ätzgräben (11), die die Ätzstoppschicht (2) vollständig durchdringen, elektrisch voneinander isoliert sind.

10. Drehratensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement (1) aus einem Siliziumwafer strukturiert ist, der in drei Schichten aus einem Substrat (3), auf dessen Oberseite und Unterseite jeweils eine weitere Schicht (2a, 2b) aufgebracht ist, aufgebaut ist.

11. Drehratensensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Stege (41, 48) der Schwinger (21, 22) in den weiteren Schichten (2a, 2b) ausgebildet sind und daß die Schwinger (21, 22) mindestens eine aus dem Substrat (3) herausstrukturierte seismische Masse (13) von der Dicke des Substrats (3) aufweisen.

12. Drehratensensor nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den weiteren Schichten (2a, 2b) und dem Substrat (3) Dotierungsübergänge bestehen.

13. Drehratensensor nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorelement (1) aus einem Siliziumwafer strukturiert ist, der in drei Schichten aus einem p-Substrat (3) auf dessen Oberseite und Unterseite jeweils eine p-dotierte Schicht (5a, 5b)

...

- 21 -

aufgebracht ist, aufgebaut ist und daß die p-dotierten Schichten (5a, 5b) im Bereich der Stege (41 - 48) vergrabene n-dotierte Gebiete (6a, 6b) aufweisen.

14. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Paar von Schwingern (21, 22) an jeweils zwei oder mehr Stegen (41 - 48) zweiseitig mit dem Rahmen (10) verbunden ist, daß die durch die Stege (41 - 48) gebildeten Aufhängungen der mindestens zwei Schwinger (21, 22) parallel zueinander und senkrecht zur Anregungsrichtung ausgerichtet sind und daß die Aufhängung jedes einzelnen Schwingers (21, 22) symmetrisch zu seiner Mittelachse (23, 24) in Richtung der Aufhängung ist.

15. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anregung der Schwinger (21, 22) in der ersten Schwingungsrichtung elektromagnetisch erfolgt.

16. Drehratensensor nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Anschluß (32) auf dem Rahmen (10) so angeordnet ist, daß er eine leitende Verbindung zwischen den zwei Schwingern (21, 22) eines Paares herstellt, so daß sie hintereinander geschaltet sind, und daß mindestens zwei weitere Anschlüsse (31, 33) auf dem Rahmen (10) so angeordnet sind, daß beim Anlegen einer Spannung an die weiteren Anschlüsse (31, 33) ein Strom über die Aufhängungsstege (41 - 48) durch die hintereinander geschalteten Schwinger (21, 22) fließt.

17. Drehratensensor nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zum Anlegen eines Magnetfeldes vorhanden sind, das senkrecht zur Richtung des durch die Schwinger (21, 22) fließenden Stromes und senkrecht zur Anregungsrichtung orientiert ist.

...

- 22 -

18. Drehratensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Paar von Schwingern (21, 22) an jeweils zwei oder mehr Stegen (41 - 48) zweiseitig mit dem Rahmen (10) verbunden ist, und daß die durch die Stege (41 - 48) gebildeten Aufhängungen der mindestens zwei Schwinger (21, 22) unter einem geringen Fehlwinkel parallel zueinander und senkrecht zur Anregungsrichtung orientiert sind, so daß eine Längenänderung der Stege (41 - 48) zu gegenläufigen Auslenkungsrichtungen der Schwinger (21, 22) führt.

19. Drehratensensor nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Anregung der Schwinger (21, 22) in der ersten Schwingungsrichtung thermomechanisch erfolgt.

20. Drehratensensor nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zum Anlegen von Stromimpulsen an die Stege (41 - 48) vorhanden sind, die eine Längenänderung der Stege (41 - 48) bewirken.

21. Drehratensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß den Schwingern (21, 22) gegenüber in Anregungsrichtung im Rahmen (10) feststehenden Gegenelektroden (25) parallel zu den Schwingern (21, 22) angeordnet sind und daß Mittel zur Krafteinleitung zwischen den Schwingern (21, 22) und den entsprechenden Gegenelektroden (25) im Rahmen vorhanden sind.

22. Drehratensensor nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Anregung der Schwinger (21, 22) in der ersten Schwingungsrichtung elektrostatisch erfolgt.

23. Drehratensensor nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Paar von Schwingern (21, 22) an jeweils zwei oder mehr Stegen (41 - 48) einseitig mit dem Rahmen (10) verbunden ist und daß die durch die Stege (41 - 48) gebildeten Aufhängungen der Schwinger eines Paares (21, 22) parallel zueinander und senkrecht zur Anregungsrichtung ausgerichtet sind.

...

- 23 -

24. Drehratensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Anregung der Schwinger (21, 22) in der ersten Schwingungsrichtung elektrostatisch erfolgt.

25. Drehratensensor nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwinger (21, 22) in der Ätzstoppschicht (2) paddelförmig ausgebildet sind und daß die Stege (41 - 44) in der gesamten Dicke des Siliziumwafers ausgebildet sind.

26. Drehratensensor nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß den Stegen (41 - 44) gegenüber in Anregungsrichtung im Rahmen (11) feststehende Gegenelektroden (25) parallel zu den Stegen (41 - 44) angeordnet sind und daß Mittel zur Krafteinleitung zwischen den Stegen (41 - 44) und den entsprechenden Gegenelektroden (25) im Rahmen (10) vorhanden sind.

27. Drehratensensor nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Paar von Schwingern (21, 22) an jeweils zwei oder mehr Stegen (41 - 48) einseitig oder zweiseitig mit dem Rahmen (10) verbunden sind und daß die durch die Stege (41 - 48) gebildeten Aufhängungen der mindestens zwei Schwinger (21, 22) parallel zueinander und senkrecht zur Anregungsrichtung ausgerichtet sind.

28. Drehratensensor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufhängungsstege (41 - 48) der Schwinger (21, 22) in Anregungsrichtung mindestens eine erste kammförmige Struktur aufweisen, daß der ersten kammförmigen Struktur gegenüber mindestens eine feststehende Elektrode (25) angeordnet ist, die mindestens eine zweite kammförmige Struktur aufweist, und daß die Finger (51) der ersten kammförmigen Struktur in die Finger (52) der zweiten kammförmigen Struktur greifen.

...

- 24 -

29. Drehratensensor nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß Mittel zum Anlegen einer Spannung zwischen den Aufhängungsstegen (41) der Schwinger (21, 22) und den entsprechenden feststehenden Elektroden (25) vorhanden sind.

30. Drehratensensor nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Anregung der Schwinger (21, 22) in der ersten Schwingungsrichtung durch einen Reluktanzantrieb elektrostatisch erfolgt.

31. Drehratensensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der feste Rahmen (10) gitterförmig ist.

32. Drehratensensor nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß von mindestens einer Strebe (102) des gitterförmigen Rahmens (10) zweiseitig, paarweise Schwinger (21, 22) ausgehen und zusammen mit der mindestens einen Strebe (102) Mehrfachstimmgabelstrukturen bilden, wobei die Schwinger (21, 22) einseitig oder zweiseitig über Stege (41 - 48) mit dem Rahmen (10) verbunden sind.

33. Drehratensensor nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingungsanregung über ein Schwingerpaar (211, 212) erfolgt, wodurch mindestens ein weiteres damit gekoppeltes Schwingerpaar (221, 222) in Schwingungen versetzt wird, und daß der Signalabgriff an dem weiteren Schwingerpaar (221, 222) erfolgt.

34. Verfahren zur Herstellung eines Drehratensensors nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß in einem ersten Verfahrensschnitt die von der Ätzstoppschicht (2) gebildete Vorderseite und die Rückseite des Siliziumwafers (10) passiviert werden, daß die Passivierschicht (70) auf der Vorderseite dermaßen strukturiert wird, daß Ätzfenster (80) in den Bereichen entstehen, in denen die Schwinger (21, 22) und die Stege (41 - 44) ausgebildet werden, daß

...

- 25 -

die Ätzstoppschicht (2) durch Ätzen in diesen Bereichen in ihrer Dicke reduziert wird und daß anschließend die Passivierschichten (70, 71) der Vorderseite und der Rückseite entfernt werden, daß in einem zweiten Verfahrensabschnitt die strukturierte Vorderseite und die Rückseite passiviert werden, daß die Passivierschicht (701) auf der Rückseite dermaßen strukturiert wird, daß Ätzfenster (83) in den Bereichen entstehen, in denen die Schwinger (21, 22) und die Stege (41 - 44) ausgebildet werden und dort, wo der Wafer (10) vollständig durchgeätzt wird, daß die Passivierschicht (701) auf der Vorderseite dermaßen strukturiert wird, daß Ätzfenster (81) in den Bereichen entstehen, in denen der Wafer (10) vollständig durchgeätzt wird, daß die Rückseite im Bereich der Ätzfenster (83) anisotrop bis zur Ätzstoppschicht (2) geätzt wird, daß die strukturierte Rückseite passiviert wird, daß die Ätzstoppschicht (2) in den Bereichen der Ätzfenster (81) vollständig durchgeätzt wird und daß die Passivierschichten (701, 712) der Vorderseite und der Rückseite entfernt werden.

35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß zur Passivierung der unstrukturierten Rückseite im zweiten Verfahrensabschnitt eine Oxidschicht mit einer darauf aufgetragenen Nitridschicht verwendet wird und daß die Nitridschicht nach der Strukturierung der Rückseite entfernt wird.

36. Verfahren zur Herstellung eines Drehratensensors nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß in einem ersten Verfahrensabschnitt die beiden Hauptoberflächen des Siliziumwafers (10) passiviert werden, daß die Passivierschichten (70a, 70b) dermaßen strukturiert werden, daß Ätzfenster (80a, 80b) in den Bereichen entstehen, in denen die Schwinger (21, 22) und die Stege (41 - 44) ausgebildet werden, daß die weiteren Schichten (2a, 2b) durch Ätzen in diesen Bereichen in ihrer Dicke reduziert werden und daß anschließend die Passivierschichten (70a, 70b) entfernt werden,

...

- 26 -

daß in einem zweiten Verfahrensabschnitt die strukturierten Hauptoberflächen passiviert werden, daß die Passivierschichten (701a, 701b) dermaßen strukturiert werden, daß Ätzfenster (81a, 81b) in den Bereichen entstehen, in denen der Wafer (10) vollständig durchgeätzt wird, daß die weiteren Schichten (2a, 2b) in den Bereichen der Ätzfenster (81a, 81b) vollständig durchgeätzt werden, daß das Substrat (3) in den Bereichen der Stege (41 - 48) von Öffnungen in den beiden weiteren Schichten (2a, 2b) ausgehend weggeätzt wird, so daß Unterätzungen (86) entstehen, die das Substrat (3) vollständig durchdringen, daß bei der Unterätzung der Stege (41 - 48) die weiteren Schichten (2a, 2b) als Ätzstopschichten dienen und daß die Passivierschichten (701a, 701b) entfernt werden.

37. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Ätzstopschichten (2, 2a, 2b) p^+ dotiert sind.

38. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß Dotierungsübergänge zwischen dem Substrat (3) und den Ätzstopschichten (2, 2a, 2b) p/n-Übergänge sind.

39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß beim Ätzen des Substrats (3) die Ätzstopschichten (2, 2a, 2b) durch Anlegen einer Spannung in Sperrrichtung an die p/n-Übergänge passiviert werden.

40. Verfahren nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem ersten Verfahrensabschnitt zum dreischichtigen Aufbau des Siliziumwafers (10) die beiden Hauptoberflächen eines p-dotierten Substrats (3) in den Bereichen in denen die Stege (41 - 48) ausgebildet werden, und in einem Verbindungsbereich zu mindestens einem Ätzstopanschluß (74a, 74b) auf jeder der beiden Hauptoberflächen maskiert

...

- 27 -

werden, daß in die beiden maskierten Hauptoberflächen p^+ -Dotierungen eingetrieben werden, daß dann die Maskierungen (72a, 72b) entfernt werden, daß dann auf den beiden Hauptoberflächen jeweils eine N-Epitaxieschicht (2a, 2b) abgeschieden wird, daß die n-Epitaxieschichten (2a, 2b) im Bereich der Ätzstopanschlüsse (74a, 74b) passiviert werden, daß dann auf die Oberflächen jeweils eine positive Ionen enthaltende Glasschicht (73a, 73b) aufgebracht wird, daß in einem weiteren Prozeßschritt, vorzugsweise durch Erhitzen die p^+ -Dotierung der p^+ -Schichten (2a, 2b) und die positiven Ionen der Glasschichten (73a, 73b) in die n-Epitaxieschichten (2a, 2b) eingetrieben werden, so daß sie sich überlappen und nur in den ursprünglich maskierten Bereichen n-Gebiete (6a, 6b, 2a, 2b) verbleiben, und daß dann die Glasschichten (73a, 73b) entfernt werden.

41. Verfahren nach Anspruch 39 oder 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasschichten (73a, 73b) Bor-Ionen enthalten.

1 / 15

FIG. 1

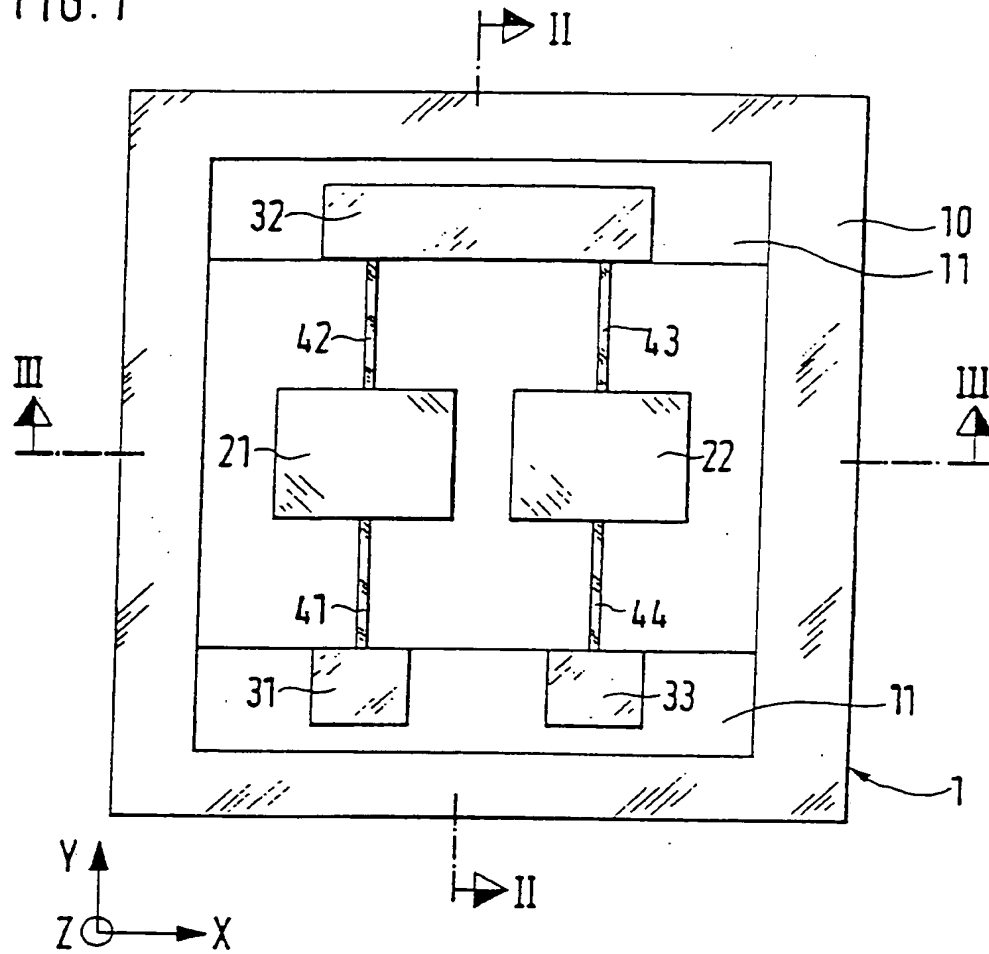
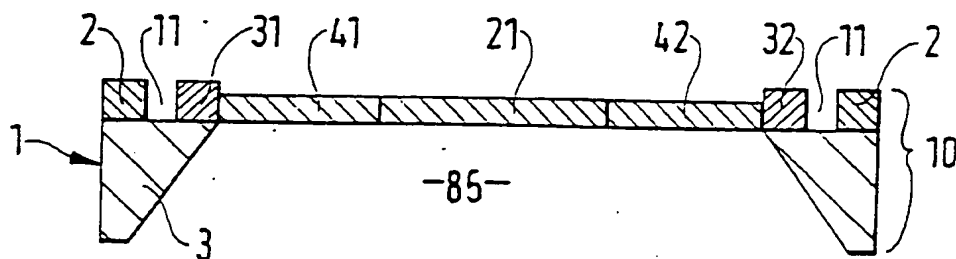


FIG. 2



2 / 15

FIG. 3

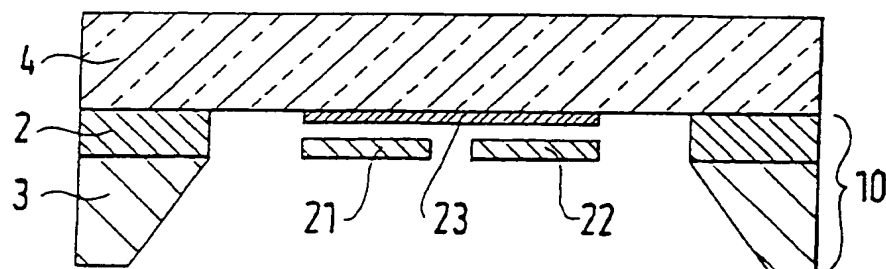
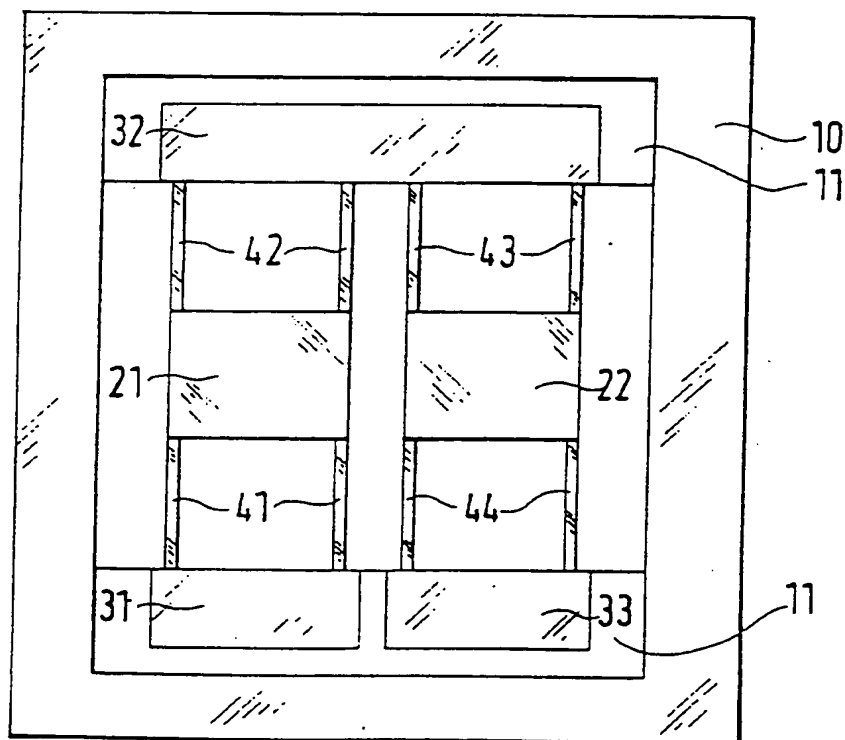


FIG. 4



3 / 15

FIG. 5

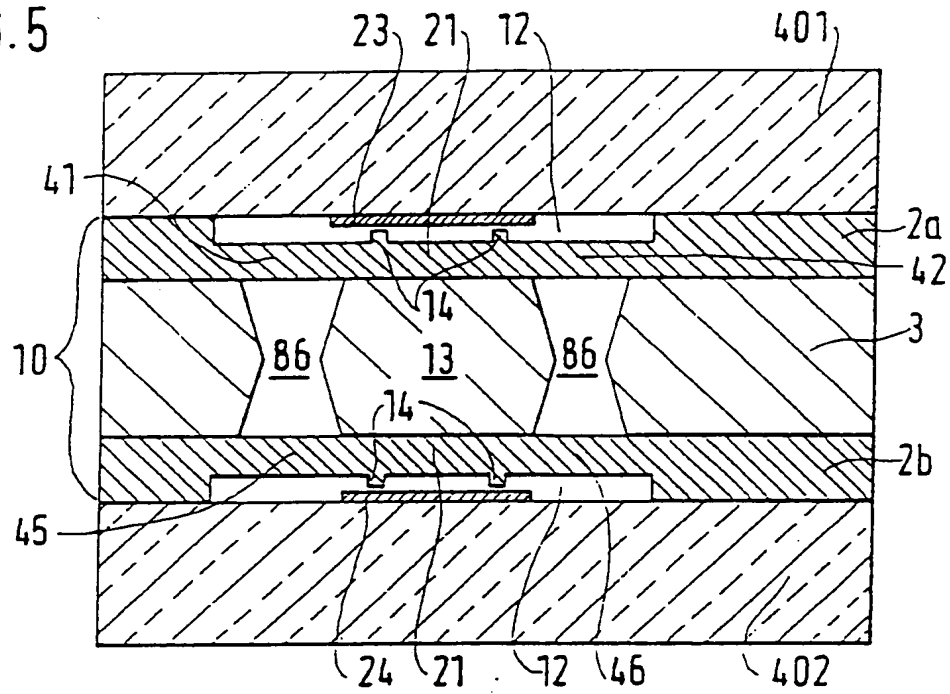
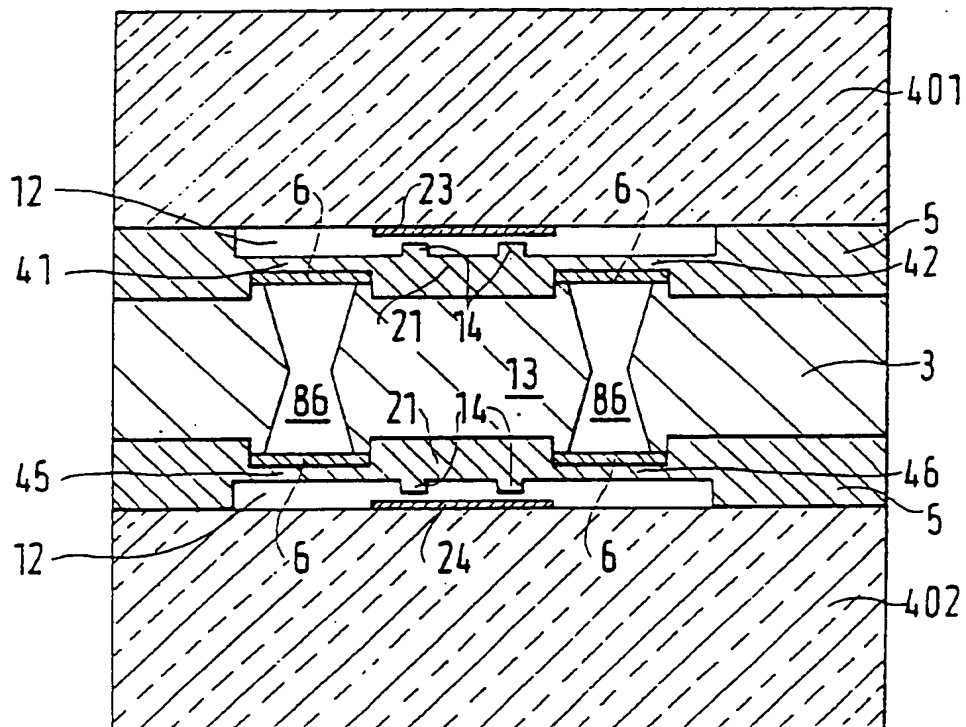


FIG. 6



4 / 15

FIG. 7

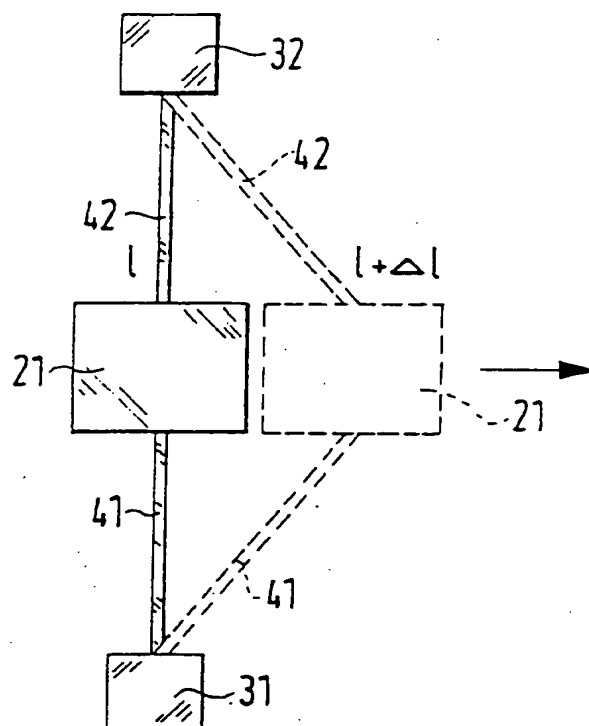
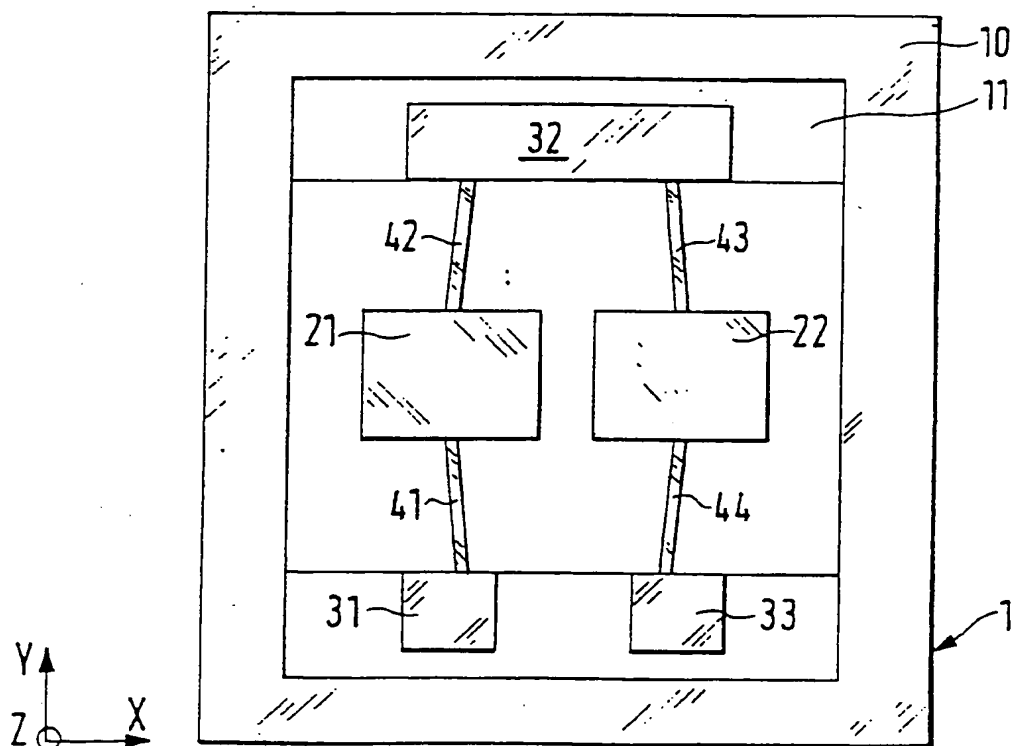


FIG. 8



5 / 15

FIG. 9

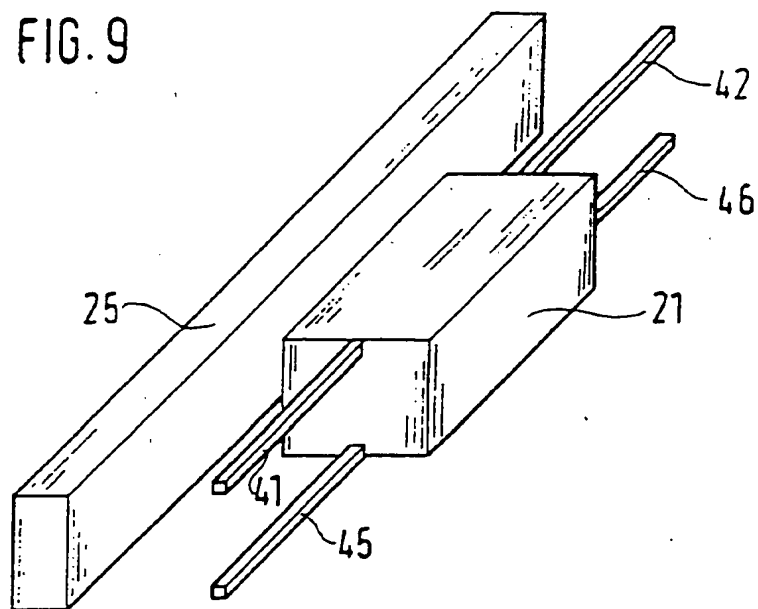
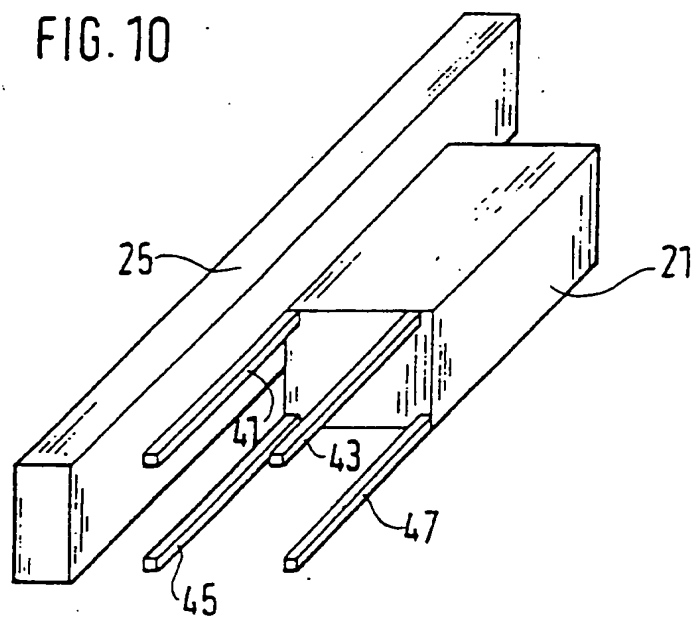


FIG. 10



6 / 15

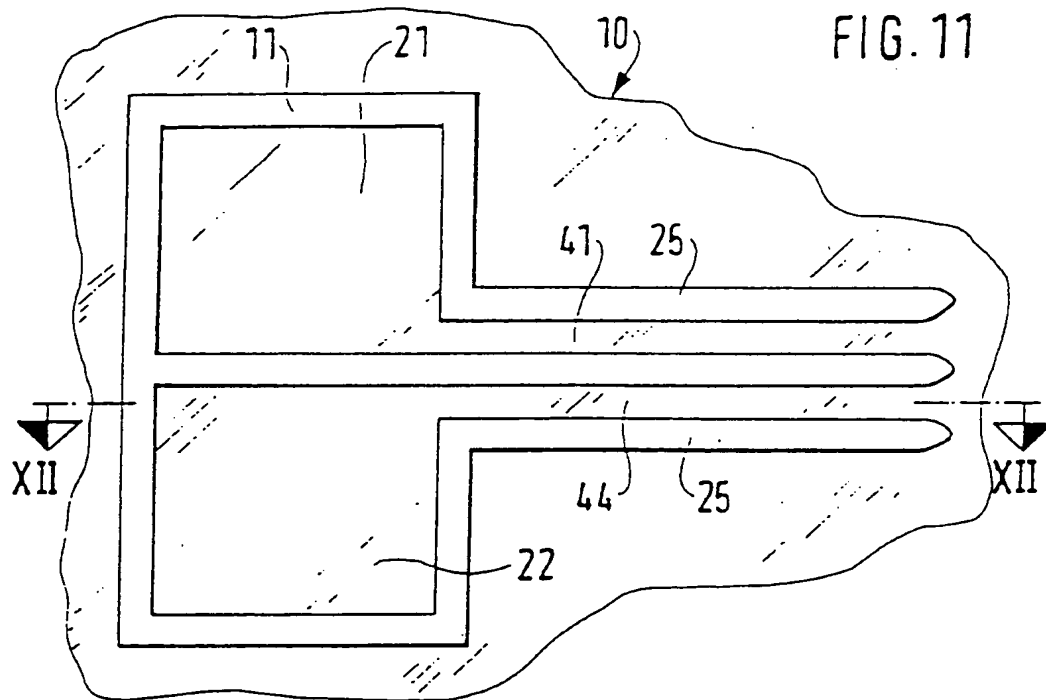
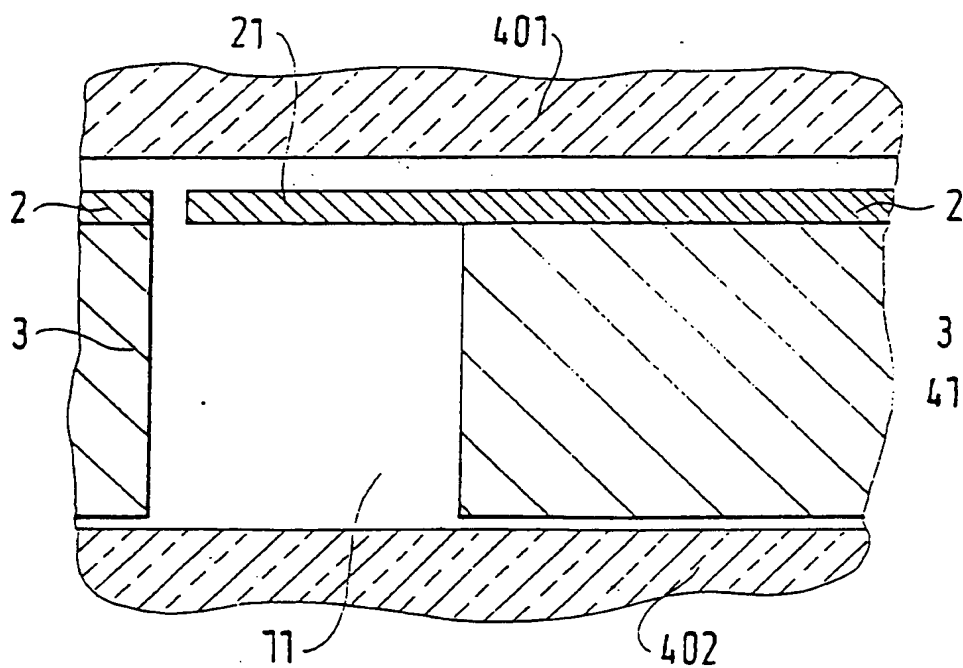


FIG. 12



7/15

FIG. 13

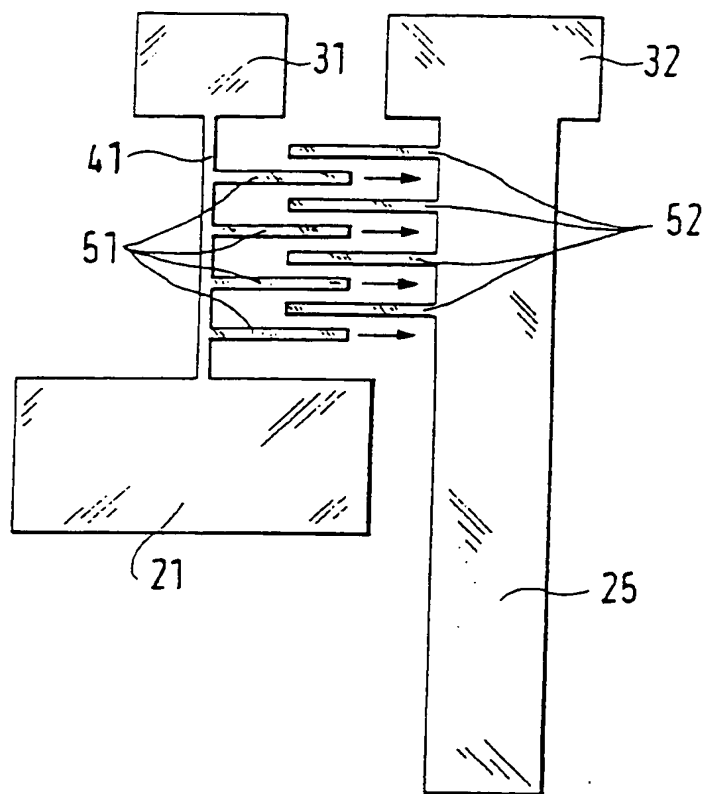
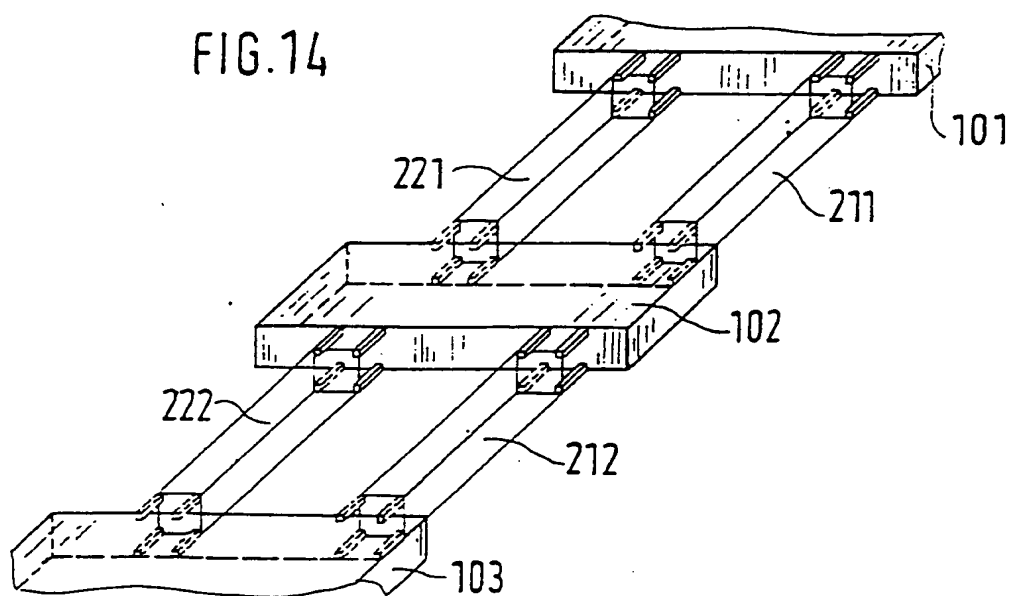
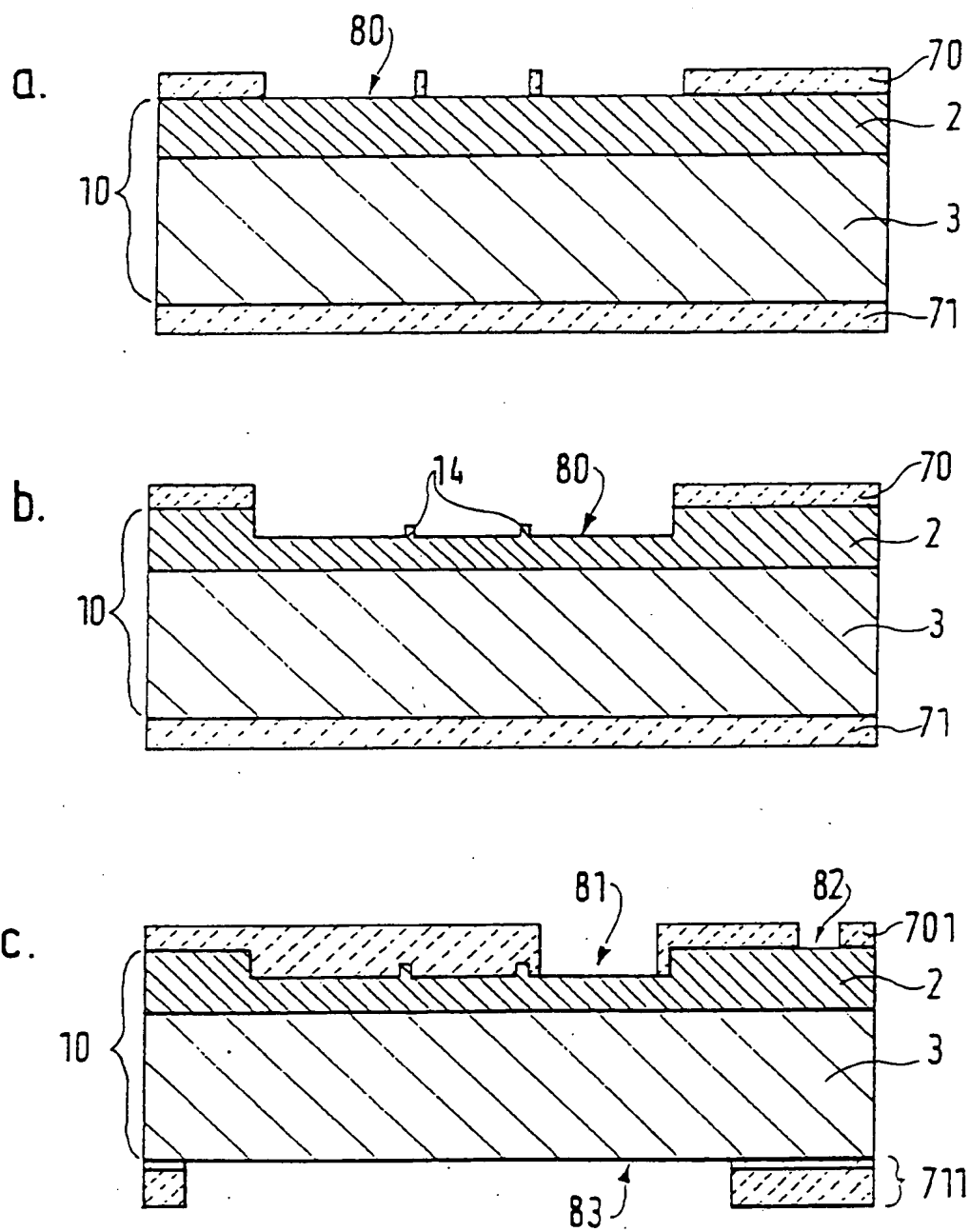


FIG. 14



8/15

FIG. 15



9 / 15

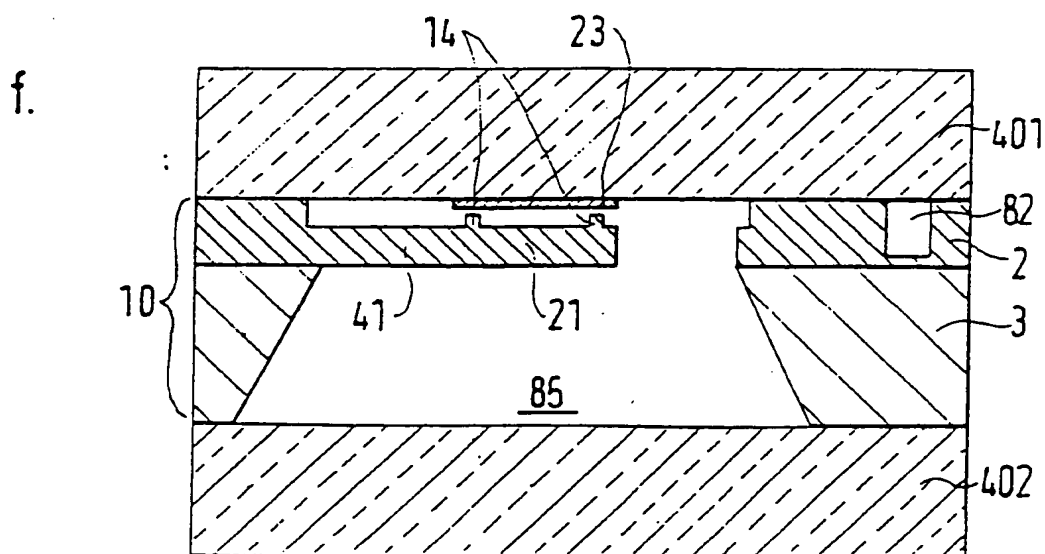
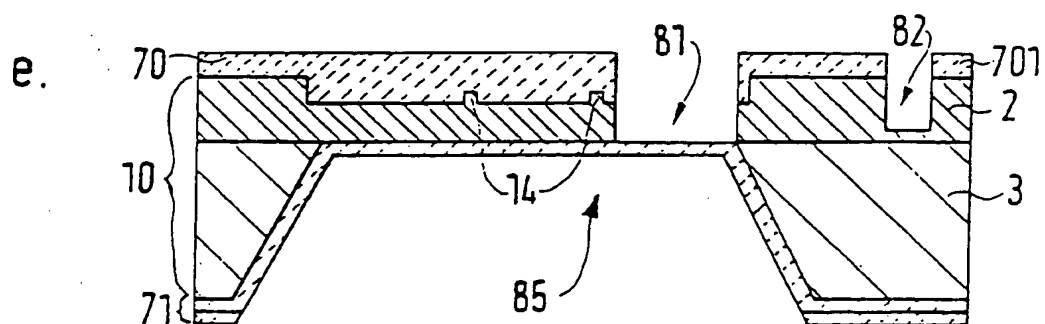
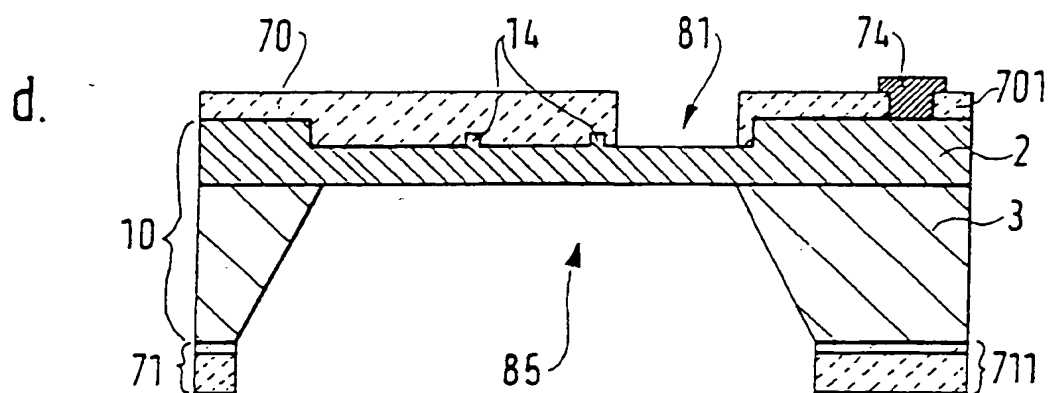
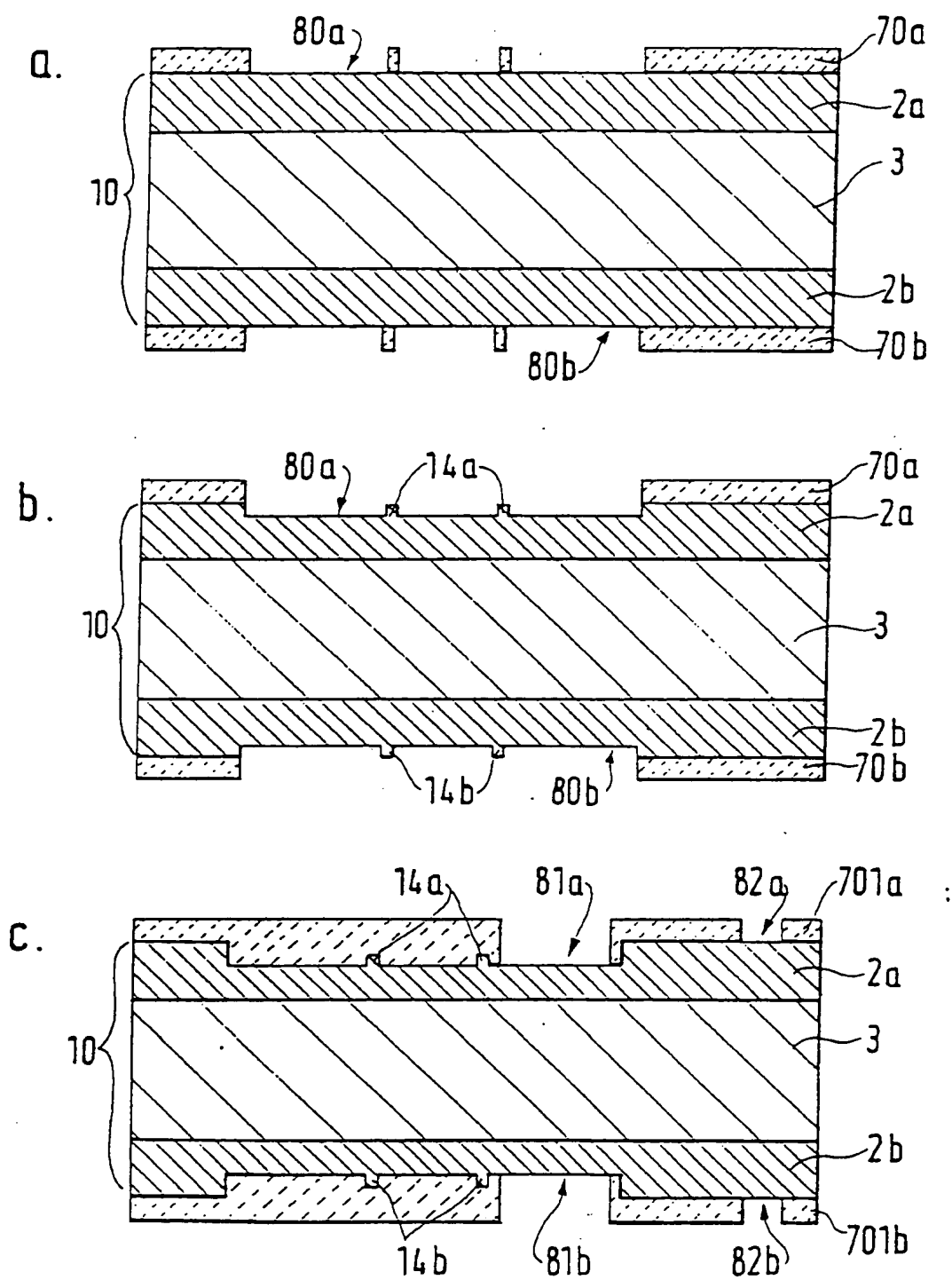
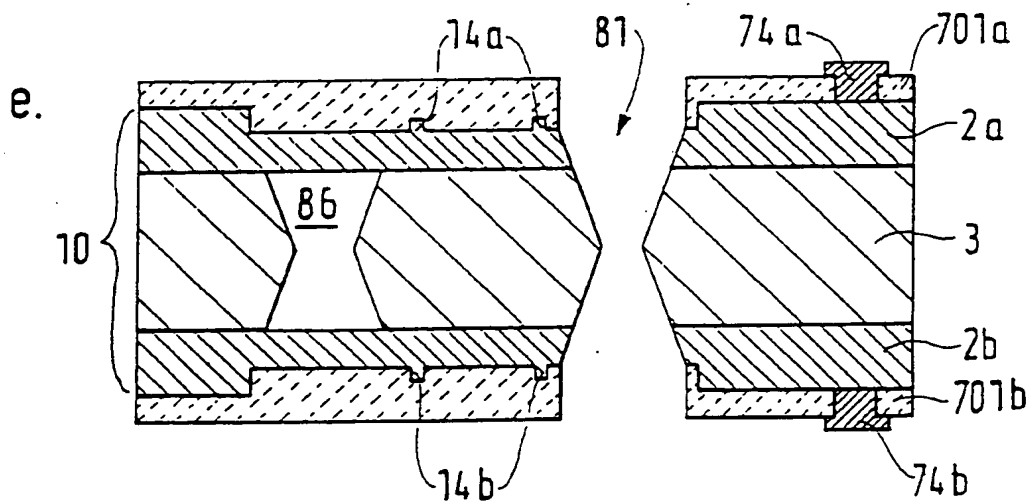
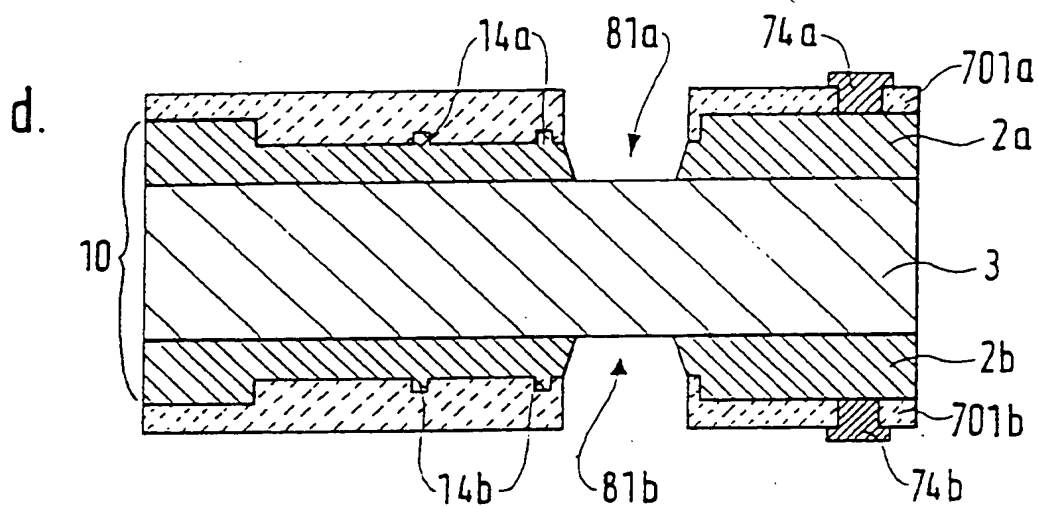


FIG. 16



11 / 15



12 / 15

f.

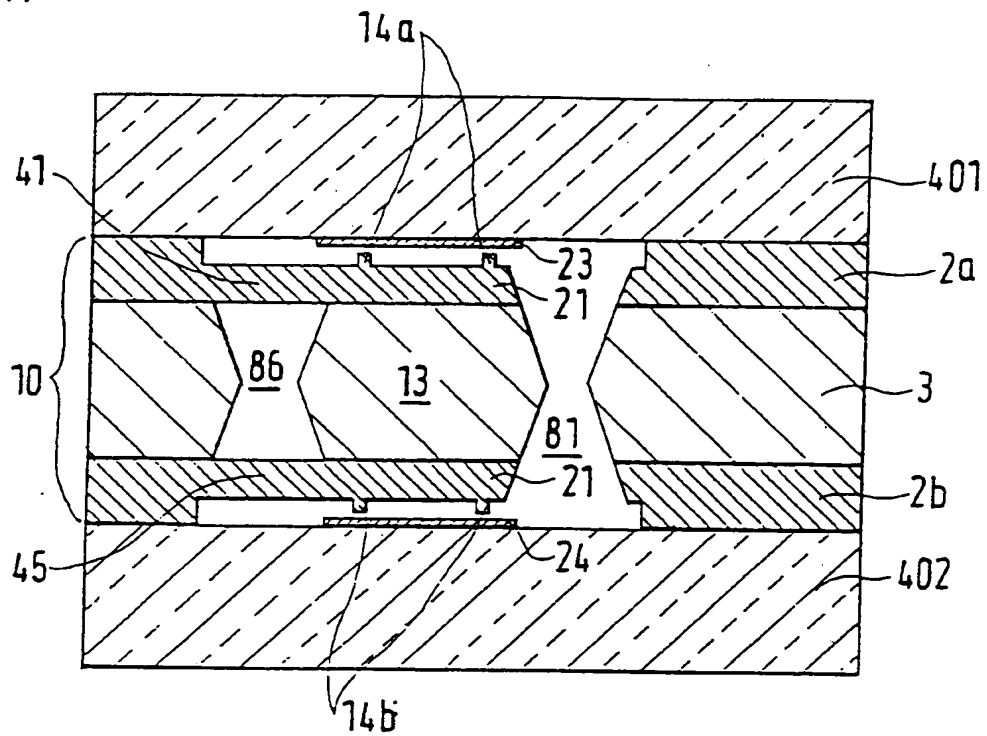
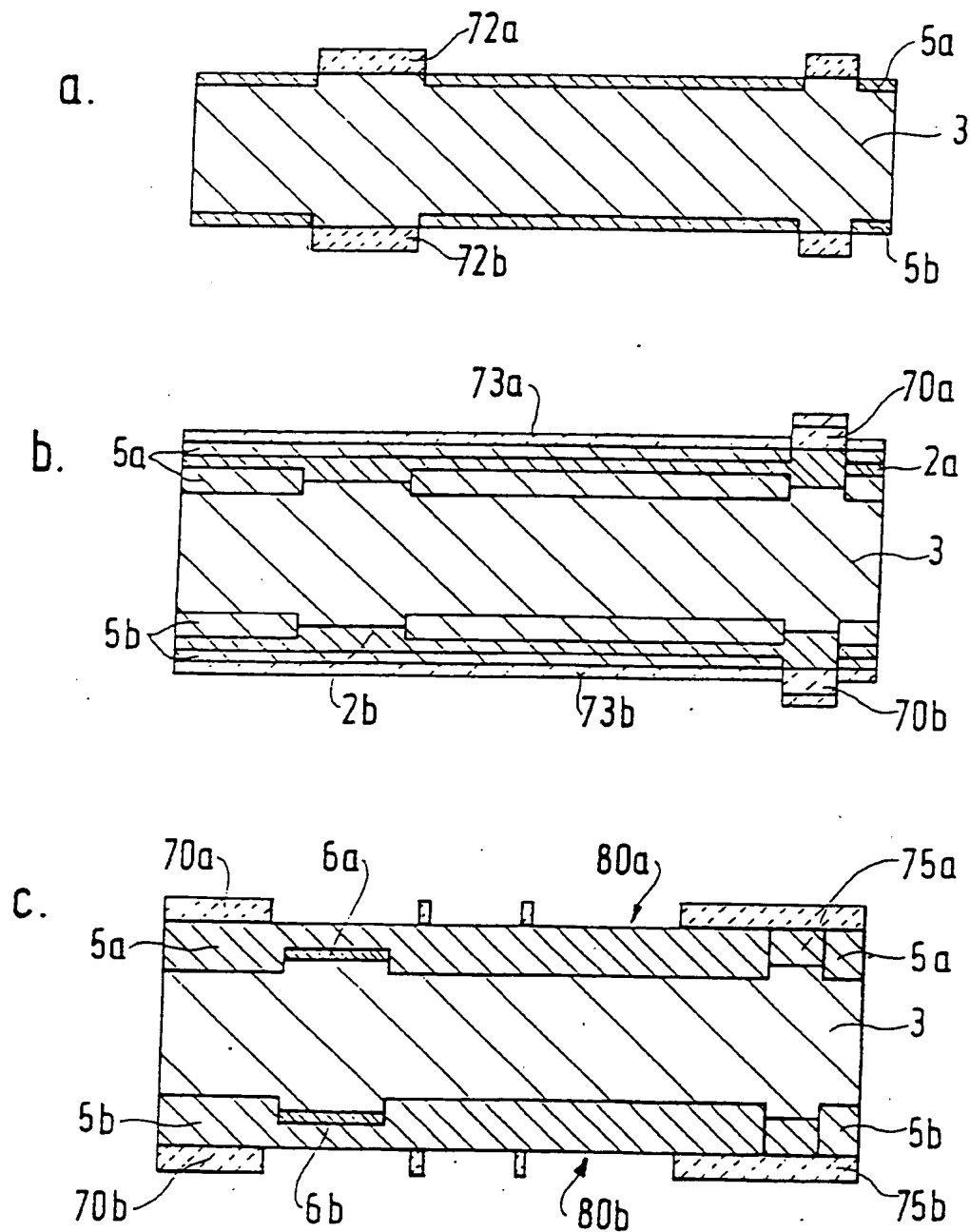
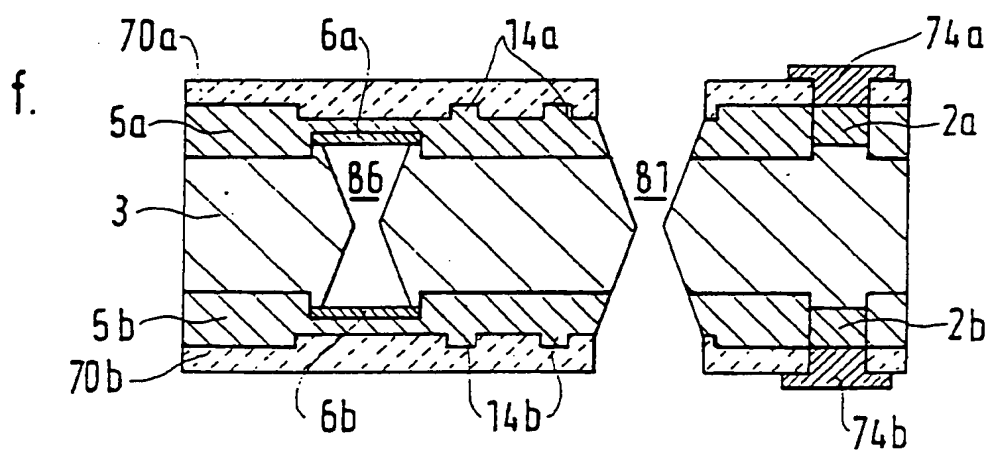
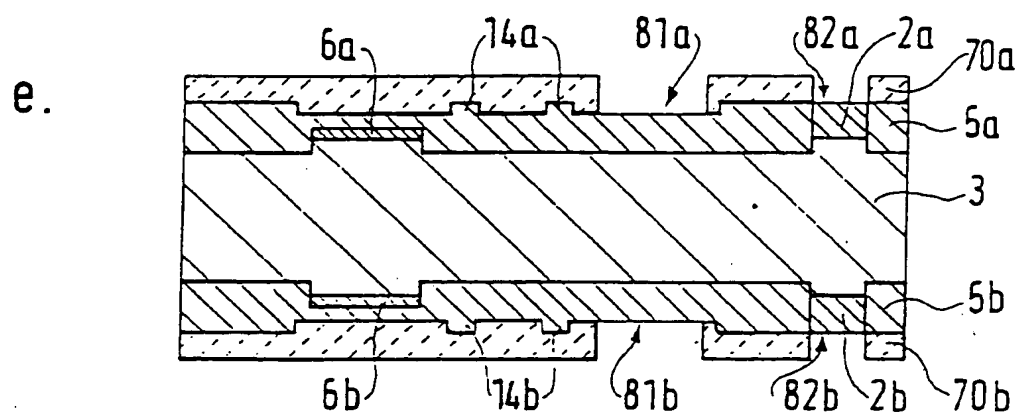
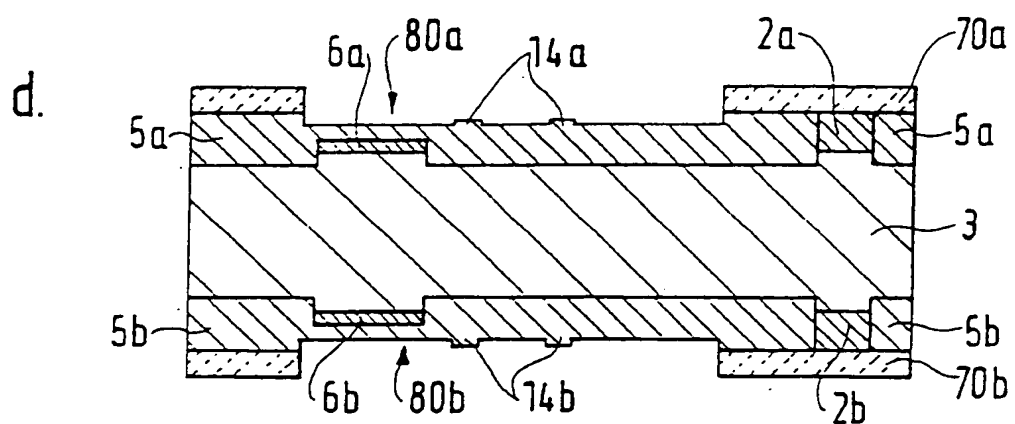
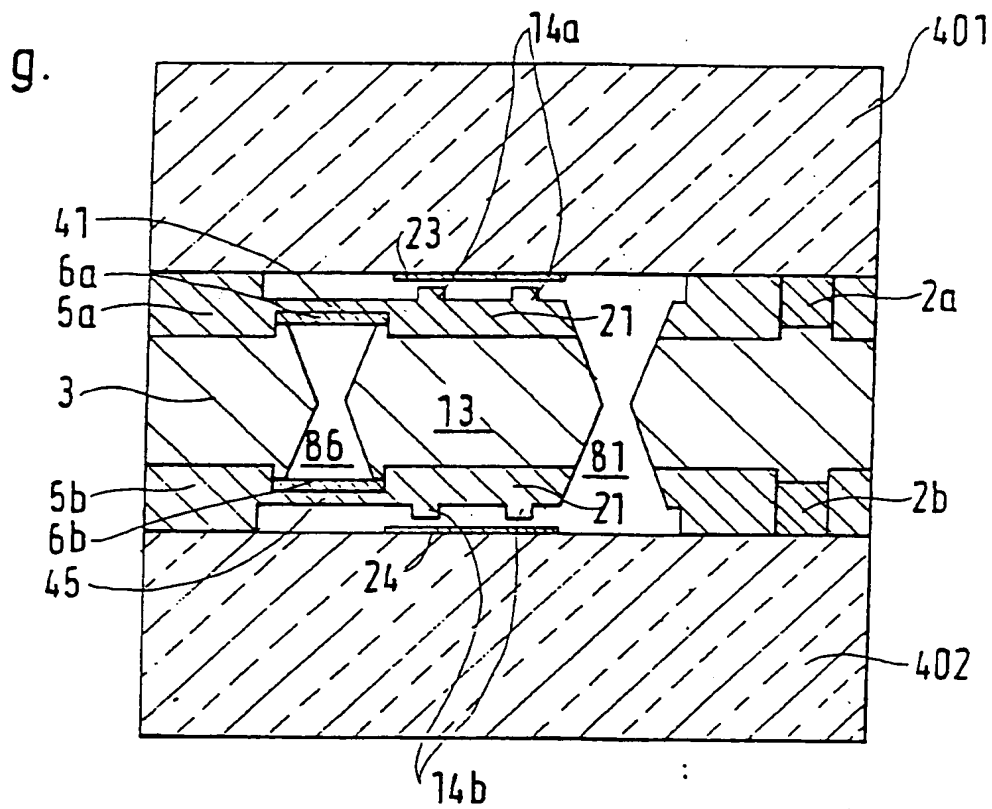


FIG. 17







III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN (Fortsetzung von Blatt 2)		
Art *	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO,A,8 905 459 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 15. Juni 1989 siehe Seite 6, Absatz 3 - Seite 7, Absatz 1; Abbildungen 3,7 ---	7,8,34,35
Y	JOURNAL OF PHYSICS E./SCIENTIFIC INSTRUMENTS Bd. 21, Nr. 12, Dezember 1988, BRISTOL,GB Seiten 1114 - 1128; GREENWOOD: 'Silicon in mechanical sensors' siehe Seite 1118, Spalte 1, Absatz 4 - Seite 1120, Spalte 2, Absatz 1 siehe Seite 1122, Spalte 2, Zeile 1; Abbildungen 7-13,19 ---	3,6
A	---	34,37-39
Y	US,A,4 836 023 (OIKAWA) 6. Juni 1989 in der Anmeldung erwähnt siehe Spalte 4, Zeile 36 - Zeile 56; Abbildung 5A ---	14,23,27
Y	EP,A,198 724 (SFENA) 22. Oktober 1986 siehe Seite 14, Zeile 17 - Seite 15, Zeile 14; Abbildungen 1,2 ---	28-30
Y	IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT Bd. 37, Nr. 4, Dezember 1988, NEW YORK,USA Seiten 569 - 571; WILNER: 'A High Performance, Variable Capacitance Accelerometer' siehe Seite 570, Spalte 1, letzter Absatz - Spalte 2, Absatz 1; Abbildung 2 ---	4,5
Y	SENSORS & ACTUATORS Bd. 17, Nr. 1,2, 3. Mai 1989, LAUSANNE,CH Seiten 241 - 245; SATCHELL & GREENWOOD: 'A Thermally-Excited Silicon Accelerometer' siehe Seite 241, Absatz 3 - Seite 243, Absatz 2; Abbildung 1A ---	18-20
A	EP,A,309 782 (SIEMENS) 5. April 1989 siehe Zusammenfassung ---	35

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/DE 91/00555

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (If several classification symbols apply, indicate all) *		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC		
Int.Cl. ⁵ G01P 9/04; G01P 15/08		
II. FIELDS SEARCHED		
Minimum Documentation Searched ⁷		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl. ⁵	G01P ; G01C; H01L	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched *		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT*		
Category *	Citation of Document, ¹¹ with Indication, where appropriate, of the relevant passages ¹²	Relevant to Claim No. ¹³
X	US, A, 4 750 364 (KAWAMURA ET AL) 14 June 1988	1,2,15-17,21,22,24
Y	see column 3,line 50 - column 4,line 15	3-8,10-12,14,18-20
Y	see column 6,line 23 - line 65;figures 1,7-10	23,27-30,34,35
Y	FR, A, 2 602 055 (MESSERSCHMITT-BOLKOW-BLOHM) 29 January 1988	3,10-12
A	see page 4,paragraph 2 see page 5,paragraph 2;figures 1-4	36
Y	WO, A, 8 905 459 (FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANFEWANDTEN FORSCHUNG E.V.) 15 June 1989 see page 6,paragraph 3 - page 7, paragraph 1;figures 3,7	7,8,34,35
--		
./		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Special categories of cited documents: ¹⁰</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
IV. CERTIFICATION		
Date of the Actual Completion of the International Search 04 October 1991 (04.10.91)		Date of Mailing of this International Search Report 31 October 1991 (30.10.91)
International Searching Authority EUROPEAN PATENT OFFICE		Signature of Authorized Officer

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT (CONTINUED FROM THE SECOND SHEET)		
Category *	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No
Y	JOURNAL OF PHYSICS E./SCIENTIFIC INSTRUMENTS vol. 21, No. 12, December 1988, BRISTOL, GB pages 1114-1128; GREENWOOD: "Silicon in mechanical sensors" see page 1118, column 1, paragraph 4-- page 1120, column 2, paragraph 1	3,6
A	see page 1122, column 2, line 1; figures 7-13, 19	34, 37-39
Y	US, A, 4 836 023 (OIKAWA) 6 June 1989 (cited in the application) see column 4, line 36 - line 56; figure 5A	14, 23, 27
Y	EP, A, 198 724 (SFENA) 22 October 1986 see page 14, line 17 - page 15, line 14; figures 1, 2	28-30
Y	IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT vol. 37, No. 4, December 1988, NEW YORK, USA pages 569-571; WILNER: "A High Performance, Variable Capacitance Accelerometer" see page 570, column 1, last paragraph - column 2, paragraph 1; figure 2	4, 5
Y	SENSORS & ACTUATORS vol. 17, No. 1, 2, 3 May 1989, LAUSANNE, CH pages 241-245; SATCHELL & GREENWOOD: "A Thermally-Excited Silicon Accelerometer" see page 241, paragraph 3 - page 243, paragraph 2; figure 1A	18-20
A	EP, A, 309 782 (SIEMENS) 5 April 1989 see abstract	35

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

DE 9100555
SA 48923

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

04/10/91

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-4750364	14-06-88	JP-A- 62093668	30-04-87
FR-A-2602055	29-01-88	DE-A- 3625411	04-02-88
		CH-A- 673897	12-04-90
		GB-A, B 2194341	02-03-88
WO-A-8905459	15-06-89	DE-A- 3741036	15-06-89
		EP-A- 0394305	31-10-90
		JP-T- 3501520	04-04-91
US-A-4836023	06-06-89	None	
EP-A-198724	22-10-86	FR-A- 2580389	17-10-86
		JP-A- 62123361	04-06-87
		US-A- 4711128	08-12-87
EP-A-309782	05-04-89	None	

Formulated: PCT/ISA/310 (Rev. 2) (January 1993)

ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.

DE 9100555
SA 48923

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04/10/91

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-4750364	14-06-88	JP-A- 62093668	30-04-87
FR-A-2602055	29-01-88	DE-A- 3625411	04-02-88
		CH-A- 673897	12-04-90
		GB-A, B 2194341	02-03-88
WO-A-8905459	15-06-89	DE-A- 3741036	15-06-89
		EP-A- 0394305	31-10-90
		JP-T- 3501520	04-04-91
US-A-4836023	06-06-89	Keine	
EP-A-198724	22-10-86	FR-A- 2580389	17-10-86
		JP-A- 62123361	04-06-87
		US-A- 4711128	08-12-87
EP-A-309782	05-04-89	Keine	

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82